حياة النبات

مجموعة كتاب وباحثين

ترجمة

د.محمد القصاص

مراجعة

د. محمد حسن

الكتاب: حياة النبات

الكاتب: مجموعة كتاب وباحثين

مراجعة: د. مُحَمَّد حسن

الطبعة: ٢٠٢١



الناشر: وكالة الصحافة العربية (ناشرون)

٥ ش عبد المنعم سالم – الوحدة العربية – مدكور- الهرم – الجيزة
جمهورية مصر العربية
هاتف : ٣٥٨٢٥٢٩٣ _ ٣٥٨٦٧٥٧٦ _ ٣٥٨٦٧٥٧٥
فاكس : ٣٥٨٧٨٣٧٣
http://www. bookapa.com **E-mail: info@bookapa.com**

دار الكتب المصرية
فهرسة أثناء النشر

حياة النبات / مجموعة كتاب وباحثين, ترجمة: د.مُحَمَّد القصاص،
مراجعة: د. مُحَمَّد حسن
– الجيزة – وكالة الصحافة العربية.
٢٥٤ ص، ١٨*٢١ سم.
الترقيم الدولى: ٦ – ٣٩ – ٦٨٢٣ – ٩٧٧– ٩٧٨
أ – العنوان رقم الإيداع : ١٠٥٨٠ / ٢٠٢٠

حياة النبات





كلمة المترجم

يسرني أن أقدم هذه الفصول إلى القارئ العربي لتحمل إليه صورة نابضة بالحياة عن تقدم علم النبات في الزمن الحديث. في هذه الفصول عرض مبسط وصادق لما يشغل الباحثين في المعامل الجامعية، ومراكز البحوث وحقول التجارب. وفيها فائدة محققة للقارئ المتخصص والقارئ المثقف. أما المتخصص في فرع من فروع النبات فستتيح له هذه الفصول أن يلم بأطراف الفروع الأخرى، وستفتح أمام بصره آفاقاً كثيرة مما لا يدخل في باب تخصصه. أما القارئ المثقف، فستزيد هذه الفصول حصيلته، وسيتابع في يسر ما تناوله الكتاب من موضوعات متنوعة، وسيطلع على ما ينبض به النشاط العالمي من آراء جديدة وإمكانيات لتطبيق النتائج العلمية في المجالات الزراعية وغيرها. وسيجد مدرسو العلوم البيولوجية في المدارس والمعاهد في هذا الكتاب حصيلة علمية يمكن الاعتماد عليها لتحبيب هذه العلوم إلى قلوب الطلاب، ولتصحيح بعض الأخطاء الشائعة في الكتب المدرسية.

هذه الميزات التي تزكي هذا الكتاب، ترجع إلى أن مؤلفيه جماعة من العلماء المبرزين المتخصصين في الدراسات النباتية المختلفة ، كتبوا هذه الفصول لتنشر في مجلة العلوم الأمريكية التي تهدف إلى تعريف المثقفين عامة بالتطورات العلمية الحديثة. فالمؤلف متمكن من مادته، ملم بأطرافها الممتدة من ماضي التاريخ إلى آفاق المستقبل، وهو يكتب عن ذلك كله في تبسيط يلائم القارئ المثقف مع حرص على الصدق والأمانة والكمال العلمي، وقد وفق المؤلفون أبلغ التوفيق في مراعاة التوازن بين دواعي التبسيط والحرص العلمي.

ومؤلفو الجزء الأول أربعة. مؤلف الفصل عن الهورمونات النباتية هو فيكتور شوكين، تخرج في جامعة نيويورك عام ١٩١٢ وحصل على درجة الماجستير من جامعة أوريجون، ودرجة الدكتوراه من معهد العلوم والتكنولوجيا بكاليفورنيا. حيث تخصص في علم وظائف أعضاء النبات، وعين باحثاً في معمل التركيب بالضوء بجامعة الينوي حيث تتلمذ على العالم الألماني العظيم أوتو فازبرج، ثم انتقل مع أستاذه للعمل في المعهد القومي للبحوث الطبية في ماريلاند وظل بها حتى رجع الأستاذ إلى موطنه ألمانيا، فانتقل صاحبنا إلى جامعة هارفرد حيث بقى فيها لمدة عام انتقل بعده إلى معهد سمثسونيان. وفي عام ١٩٥٢ قرر شوكين أن يهجر دراسات علم النبات وأن يدرس الطب، فكان له ما أراد، وهو الآن طبيب مقيم في المستشفى الجامعي بواشنجطن.

ومؤلف الفصل الثاني عن التحكم في الإزهار هو أوبري ونايلور ولد في تنسي عام ١٩١٥، ودخل جامعة شيكاجو وحصل منها على درجاته العلمية جميعاً ،وقد أظهر تفوقه في مراحل دراسته كافة، فحصل على عدد من جوائز التفوق والمنح التشجيعية، وتبدت مواهبه الخاصة في دراسة علم وظائف الأعضاء ولكن فترة الحرب عطلت عمله العلمي، فلما انتهت الحرب عين باحثاً في معهد بويس تومسون، ثم انتقل للعمل في هيئة للتدريس بجامعة وشنجطن ثم بجامعة يال. وفي عام ١٩٥٢ عين أستاذاً لعلم النبات في جامعة ديوك. وقد عكف خلال حياته العلمية على دراسة الأساس الكيميائي لوظائف الأعضاء النباتية.

ويتناول الفصل الثالث موضوع تساقط الأوراق، ومؤلفه وليم ب. جاكوبز الذي تخرج في جامعة هارفرد عام ١٩٤٣، ثم التحق بمعهد العلوم والتكنولوجيا بكاليفورنيا حيث تتلمذ على الأستاذ فريتس فنت، ثم عاد إلى هارفرد حيث

حصل على درجة الدكتوراه عام ١٩٤٦. انتقل بعد ذلك إلى جامعة برنستون، وهو الآن من أساتذة علم النبات بها. وتستهدف أبحاثه محاولة اكتشاف العوامل الحيوية الداخلية التي تؤثر على النمو الطبيعي للنبات، وكان تقصي أسباب سقوط الأوراق من أول الموضوعات التي شغلته.

والفصل الرابع عن الهورمونات الجديدة مؤلفه فرانك ب. سالزبوري من مواليد بروفو بولاية يوتاه، وتخرج في جامعة الولاية عام ١٩٥١، ثم التحق بمعهد العلوم والتكنولوجيا بكاليفورنيا حيث تتلمذ على الأستاذ جيمس بونار، وحصل على الدكتوراه عام ١٩٥٦، ثم عين أستاذاً للنبات في جامعة كولورادو، حيث عكف على أبحاثه التي تناولت الأسس الكيميائية لعملية الإزهار في النباتات. كما اتضحت مواهبه في الكتابة العلمية لغير المتخصصين.

هؤلاء هم مؤلفو الجزء الأول من هذا الكتاب، أربعة شبان إن جاز لنا أن نستعمل هذه الصفة لمن جاوزوا الأربعين. وقد تناولوا في هذه الفصول موضوعات تتسم أيضاً بالشباب والجدة في مجالات البحوث العلمية أما مؤلف الجزء الثاني عن علم المناخ الزراعي فهو العلامة الأستاذ فريتس وفنت، وهو واحد من أئمة علماء النبات المعاصرين وقد وضع في هذا الكتاب علاوة على هذا الجزء فصولاً أخرى في الجزء السادس عن قصة الحياة النباتية في كراكاتاو، وعن بيئة النباتات الصحراوية. ولد فنت في هولنده لأب هو أستاذ النبات في جامعة أترخت، وتدرج في مراحل التعليم الجامعي حتى حصل على الدكتوراه عام ١٩٢٧، وتناولت رسالته بحوثاً عن الهورمونات على نحو ما وصف تلميذه شوكين في صدر هذه الفصول. وسافر بعد ذاك إلى جاوة حيث أمضى خمس سنوات أتيحت له الفرصة خلالها لدراسة الحياة النباتية في جزيرة كراكاتاو. ثم انتقل إلى الولايات المتحدة حيث أصبح أستاذاً للنبات في معهد العلوم

والتكنولوجيا بكاليفورنيا. واهتم منذ ذلك الحين بدراسة وظائف أعضاء النبات مع الاهتمام الخاص بدراسة النباتات الصحراوية وعلم المناخ الزراعي وهو دراسة العلاقات بين حياة النبات والمحاصيل وظروف المناخ. ويمكن أن يقال إن فنت قد أرسى دعائم هذا العلم الجديد. وأنشأ فنت معملاً هائلاً لدراسة تأثير العوامل المناخية على نمو النبات، سماه مختبر النبات، وسيجد القارئ وصف هذا المختبر وطرفاً عن الدراسات التي تجرى فيه.

ومؤلفو فصول الجزء الثالث ثلاثة، أولهم جون تايلر بونار الذي تخرج في جامعة هارفرد ثم انتقل عام ١٩٤٧ إلى جامعة برنستون أستاذاً للعلوم البيولوجية. وقد عكف بونار على بحوث النمو في الكائنات الدقيقة وبخاصة الفطريات.

أما الفصل الثاني عن شكل الورقة، فمؤلفه الأستاذ إريك آشبي، الذي يشغل حالياً منصب مدير جامعة بلفاست، وبذلك تحول من العمل العلمي إلى العمل التعليمي. تخرج آشبي في جامعة لندن، وأول ما تناولته أبحاثه كانت موضوعات تجمع بين علم النبات والعلوم الرياضية، مثل دراسة النمو والتحليل الرياضي لظواهره ومراحله، ودراسات في علم البيئة النباتية ولاسيما استخدام أسس علم الإحصاء في دراسة المجتمعات والعشائر النباتية. ولما بلغ الثالثة والثلاثين من عمره، عين أستاذاً في جامعة سيدني بأستراليا، والتحق بخدمة الحكومة في غضون الحرب العالمية فشغل وظيفة رئيس المجلس الأهلي للأبحاث. ثم عين وزيراً في المفوضية الأسترالية بموسكو. وعندما انتهت الحرب، عاد إلى إنجلترا واستأنف عمله العلمي أستاذاً للنبات بجامعة مانشستر. وفي سنة ١٩٥٠ عين مديراً لجامعة بلفاست، ومنحته الملكة لقب سير في سنة ١٩٥٦.

أما مؤلف الفصل الثالث من هذا الجزء فهو فيليب د. هوايت، الحجة

العالمية في موضوع مزارع الأنسجة. تخرج في جامعة مونتانا وتقلب في وظائف ومهمات علمية متعددة؛ فكان مدرساً للغة الإنجليزية في إحدى المدارس الفرنسية، وتحول إلى دراسات علم النبات، فحصل على درجة الدكتوراه من جامعة جون هوبكنز عام ١٩٢٨، وعمل بوزارة الزراعة الأمريكية، وبمعامل إحدى شركات الفواكه، ومعهد بويس تومسون وجامعة برلين، ثم استقر به الحال في معهد روكفلر في برنستون، وهناك عكف على دراسة موضوع زراعة الأنسجة النباتية، وقد زاد عمر بعض أنسجته على عشرين سنة. وفي هذا الفصل يصف لنا بعض خبرته ويبين لنا أهمية هذا الموضوع الذي يبدو أكاديمياً بحتاً فإذا هو يتعلق بأمور ترتبط بأمراض النبات والحيوان والإنسان.

ويتضمن القسم الرابع فصلين؛ الأول يتناول موضوع التمثيل الضوئي والثاني يتناول موضوع ألوان الخريف. ومؤلف الفصل الأول هو يوجين رابينووتش، أحد أئمة المشتغلين بموضوع التمثيل الضوئي، وكتابه عن الموضوع يعتبر المرجع الأوفى. ولد في لننجراد عام ١٩٠١ ودرس علوم الطبيعية والكيمياء الحيوية في جامعات برلين وجوتنجن وكوبنهاجن ولندن. ومن إنجلترا هاجر إلى الولايات المتحدة عام ١٩٣٩ حيث واصل دراساته على التمثيل الضوئي، وساهم في الدراسات الذرية خلال الحرب العالمية. وهو الآن أستاذ الأبحاث في قسم النبات بجامعة الينوي.

ومؤلف الفصل الثاني عن ألوان الخريف واحد من أشهر علماء النبات المعاصرين، كينث في ثمان. إنجليزي الأصل، حصل على درجة الدكتوراه من جامعة لندن عام ١٩٣٠، وسافر إلى أمريكا حيث شغل وظيفة في هيئة التدريس بمعهد العلوم والتكنولوجيا بكاليفورنيا وساهم مع هرمان دولك في الدراسات الأولى عن الهورمونات النباتية ونجح في استخلاص أحدها وتعرف

على تركيبه الكيميائي وهو لندول حمض الخليك، ولما توفي دولك عام ١٩٣٣ جاء فريتس فنت إلى المعهد وتعاونا في دراسة موضوع الهورمونات وتأثيرها على النمو النباتي. وفي عام ١٩٣٥ عين أستاذاً في جامعة هارفرد حيث بقي فيها إلى الآن، وعلى يديه تخرج الكثيرون من المشتغلين بعلوم وظائف الأعضاء النباتية ومنهم مؤلفو فصول كثيرة في هذا الكتاب.

والجزء الخامس من هذا الكتاب يتناول موضوع الحركة في النبات. يعرض الفصل الأول التحركات الظاهرة، والفصل الثاني التحركات الداخلية للعصارات والأغذية. ومؤلف الفصلين فيكتور أ. جريلاك، تخرج في جامعة أوهايو حيث حصل على الدكتوراه في علم وظائف الأعضاء، وعين في هيئة التدريس بجامعة هوستن، ثم جامعة تكساس ثم جامعة كارولينا الشمالية، حيث واصل دراساته عن مواد النمو وظاهرة التواقت الضوئي. ويعتبر من أقدر الكتاب العلميين للقراء غير المتخصصين.

أما الجزء السادس ففيه خمسة فصول. يتناول الأول موضوعاً طريفاً وهو الأشجار الخناقة، ومؤلفاه عالمان أحدهما دوبزهانسكي أستاذ علم الحيوان في جامعة كولومبيا، ومن أشهر المتخصصين في علوم الوراثة. والثاني موركو بيريس عالم برازيلي خبير نباتات الأمازون ورئيس قسم النباتات بمعهد الأبحاث الزراعية بالبرازيل. ودوبزهانسكي من أصل روسي تخرج في الجامعات الروسية وأصبح مدرساً في جامعة لننجراد، وهاجر إلى أمريكا عام ١٩٢٧ واستوطن فيها منذ ذلك الحين، وهو أستاذ لجيل من الباحثين في ميادين العلوم الوراثية.

والفصلان الثاني والثالث في هذا الجزء يتناولان قصة الحياة في جزيرة كراكاتاو بعد الانفجار المدمر الذي ذهب بالحياة فيها عام ١٨٨٣، وبيئة النباتات الصحراوية. ومؤلف الفصلين هو الأستاذ فريتس فنت وقد سبقت

الإشارة إلى حياته العلمية الغنية بالمعرفة والإنتاج.

ويتناول الفصل الرابع موضوعاً طريفاً هو كيمياء العلاقات الاجتماعية في النباتات، ومؤلفه جيمس بونار. ولد جيمس وإخوته الستة لأستاذ العلوم الكيميائية في جامعة يوتاه، وورثوا عن والدهم حب العلوم التجريبية. وقد تخرج صاحبنا في جامعة يوتاه، ثم ذهب إلى معهد العلوم والتكنولوجيا بكاليفورنيا ومنه حصل على درجة الدكتوراه بعد أن تتلمذ على دوبزهانسكي في العلوم البيولوجية؛ وثمان فنت في علوم وظائف الأعضاء. وما زال يعمل في هذا المعهد.

والفصل الخامس يعرض موضوع إخصاب الأزهار. مؤلفه فيرن جرانت، وقد تخرج في جامعة كاليفورنيا وشغفته مؤلفات شارلس دارون عن التطور، وقام برحلات إلى المناطق الأمريكية الحارة وإلى جبال الأنديز حيث أمضى عدة سنوات في دراسات نباتية حرة، وعاد إلى جامعة كاليفورنيا بعد الحرب حيث استأنف دراساته مع الأستاذ ستين، ودرس مؤلفات دوبزهانسكي، وعكف عن دراسة بيولوجيا التكاثر ومناهج التطورات النباتية. ويشغل حالياً وظيفة رئيس قسم الوراثة بالحدائق النباتية بكاليفورنيا.

أما الجزء السابع والأخير من هذا الكتاب فيتناول ناحية تطبيقية هي العلاقة بين علوم الوراثة والإنتاج الزراعي، وبه ثلاثة فصول: الأول عن القمح، والثاني عن الذرة، والثالث عن الذرة الهجين، ومؤلف الفصول الثلاثة بولس مانجلسدروف، وهو أحد الأئمة المعاصرين في موضوعات وراثة المحاصيل. درس تربية القمح والذرة في جامعة كنساس، وتخرج عام ١٩٢١ ثم ذهب إلى محطة الأبحاث الزراعية في كونكتيكت حيث درس مع جونز، وإلى جامعة هارفرد حيث درس مع إيست، وهما من واضعي أسس إنتاج الذرة الهجين كما سيلاحظ القارئ في الفصل الأخير. وفي عام ١٩٢٠ انتقل إلى محطة الأبحاث الزراعية في

تكساس وبقى بها حتى ١٩٤٠، وخلال هذه المدة استنبط أصناف الذرة الهجين التي تلائم جو تكساس، وأصنافاً جديدة من القمح والشوفان والشعير. وتقلد في ١٩٤٠ منصب الأستاذية في جامعة هارفرد ومنذ ذلك الحين وهو المستشار العلمي لمؤسسات روكفلر التي تبذل العون لتطوير الزراعة في البلاد الأخرى.

هذه كلمات قصار عن هذه الجماعة من علماء النبات الذين أسهموا في وضع فصول هذا الكتاب. ونرجو أن تحقق هذه الترجمة الفائدة للقراء العرب.

المترجم

مقدمة

يتناول هذا الكتاب حياة النبات وعلاقته بالإنسان. ونحن البشر طفيليون على الحياة النباتية التي تشاركنا سطح هذا الكوكب؛ فللنبات القدرة الفريدة على استنباط المواد المعقدة التي تلزم للحياة من العناصر الخام البسيطة الموجودة في الماء والهواء. وبذلك يؤسس النبات الحلقة الأولى من سلسلة الحياة التي تنتظم الكائنات جميعاً.

وحيث إن المواد التي تدخل في بناء جسم النبات لابد أن تكون هى ذاتها التي تدخل في بناء جسم الإنسان، فإن دراستنا للحياة النباتية قد تؤدي في النهاية إلى معرفة الكثير عن حياتنا.

وعالم النبات في الزمن الحديث يدرس حياة النبات كوسيلة لفهم الحياة في صورتها العامة. فالنبات يقدم له مادة رخيصة وميسرة للدراسات العملية والتجريبية على مسائل النمو والشكل والوراثة والتطور وكيمياء العمليات الحيوية. وسيلاحظ القارئ في صفحات هذا الكتاب اهتمام مؤلفيه البالغ بالتطبيقات الثورية لدراساتهم في مجالي الزراعة وتغذية الإنسان.

ومؤلفو هذا الكتاب من الأخصائيين فيما تناولته الفصول من موضوعات. وقد كتبوا هذه الفصول كمقالات لقراء مجلة العلوم الأمريكية. ويتناول كل جزء عرض موضوع واحد متكامل، على أن جمعها في هذا الكتاب يزيد من قيمتها، إذ يربط بينها ليكمل بعضها بعضاً حتى لتجتمع منها صورة واضحة في الاتجاهات الرئيسية لدراسات علم النبات في الزمن الحديث.

ويتناول الجزء الأول من الكتاب موضوع الهورمونات النباتية التي تنظم حياة النبات. وهى مواد تعتبر بسيطة التركيب إذا قورنت بالهورمونات الحيوانية، ولكن لها وظائف متعددة، والأوكسينات مواد هى الهورمونات أو شبيهة بها، تنظم تتابع الأنسجة النباتية وتنوعها وتؤثر على النمو تنشيطاً وتثبيطاً، وتتحكم في موعد تفتح الأزهار ونضج الثمار وتساقط الأوراق. وقد اكتشفت حديثاً مواد منظمة لنمو النبات تختلف عن الأوكسينات في التركيب الكيماوي وفي الوظيفة. وقد ثبت وجودها في جوزالهند، والقسطنة الهندي، والبطاطس، والجزر، وثمار الموز الناضجة، بل وفي بعض الأنسجة الحيوانية. ويعتقد الباحثون أن المستقبل سيتكشف عن معارف جديدة في فهمنا للعوامل التي تؤثر على انتظام الخلايا في الأنسجة، وانتظام الأنسجة في أعضاء الكائن النباتي. كما أن هذه المواد الجديدة تنبيء عن تقدم كيمائي في الزراعة، ذلك لأن الأوكسينات أصبحت تلعب دوراً كبيراً في العمليات الزراعية في الحقول والحدائق، ونذكر– على سبيل المثال– أن إسقاط أوراق القطن ييسر عمليات الجني الآلي للمحصول، وأن عمليات الرش بمحاليل الأوكسينات قد حل محل الأيدي العاملة في مقاومة الحشائش.

فإذا انتهى الجزء الأول عن الهورمونات، سيتابع القارئ ما يتناوله الجزء الثاني من العلاقة بين النبات والمناخ. ففي هذا الجزء خلاصة التجارب التي تمت خلال عشر سنوات في "المختبر النباتي"؛ وهو بناء يضم مجموعة من الحجرات الزجاجية التي يمكن أن يهييء فيها الباحث ظروفاً جوية تماثل أنواع المناخ المختلفة التي توجد على الكرة الأرضية. وبهذا التحكم التجريبي في عامل المناخ يتيسر للباحث أن يقوم بالعديد من الدراسات الهامة. وقد ساعدت نتائج هذه التجارب على وضع أسس فرع جديد من فروع العلوم التطبيقية وهو علم المناخ

الزراعي. ومن الأهداف الرئيسية لهذا العلم التعرف على أسس الملاءمة بين النباتات والمناطق التي يجود فيها نموها.

وتتناول الفصول الثلاثة التي يشتمل عليها الجزء الثالث كثيراً من الأسئلة التي يمكن الإجابة عنها بالرجوع إلى صفات المواد منظمة النمو النباتي. فيمكننا أن نعلل الظهور المباغت للعراهين الفطرية، وأن نعرف كيف "تشعر" الخلايا التي تنقسم وتتنوع في النبات صغير السن أنها قد أتمت نسج عرهون جديد على أهبة الاستعداد ليخرج من بطن الأرض إلى ظاهر الأرض. ومن الواضح أن أوراق النبات، وهو في مستهل حياته، تختلف شكلاً عن أوراقه في ختام هذه الحياة. ولكننا لانزال نجهل التفسير الكيميائي لظاهرة الشيخوخة. وعندما نزرع في أواني الاختبار الزجاجية شذرة صغيرة من النسيج النباتي، فإنها لا تكون جذراً وساقاً وأنما تنمو ويزداد حجمها لتصبح كتلة غير منتظمة من الخلايا، تشبه السرطان النباتي. وهي بذلك تفيد في تفهم المسائل الأساسية في عمليات النمو.

وفي الفصلين التاليين دراسات عن اللونين الأخضر والأحمر في الأوراق، وما لهما من أثر فعال على العمليات الكيميائية الكبرى التي يقوم بها النبات لصالحه ولصالح الكائنات الحية الأخرى. فاللون الأخضر للكلوروفيل يمتص النوع المناسب من أشعة ضوء الشمس ليمسك الطاقة اللازمة لتحقيق الاتحاد بين ذرات الكربون والأيدروجين الذي يعتبر أساس عمليات الكيمياء الحيوية والعضوية جميعاً. أما اللون الأحمر الذي يتميز في أوراق الخريف، فينم عن ظاهرة أخرى لا يمكن محاكاتها في المعمل؛ فالجزء الرئيسي في الصبغة الحمراء هو حلقة بنزينية (إحدى الأصول الهامة في الكيمياء العضوية) وتتكون في الورقة بتحويل بارع للمركبات السكرية، وهي النتاج الأول لعملية التركيب بالضوء. ومجموعة المركبات البنزينية تتضمن الأصباغ التي تستعمل في الصناعة، كما

تتضمن ألوان الأوراق في الخريف، والكثير من المركبات الطبية والمركبات الفعالة كالمورفين والأستركنين والكينين، كما تشمل مادة اللجنين التي تربط الألياف السيليولوزية في التركيب النباتي. ومادة قطران الفحم التي تزود الكيميائي بمادة الفينول ليصنع منها أنواعاً متعددة من اللدائن.

وفي حياة النبات مسائل طريفة متصلة بعلوم الميكانيكا والطبيعة والكيمياء فيمكن أن تشبه شجرة التنوب الدوجلي بمضخة مائية ترفع في اليوم مئات الجالونات إلى علو يبلغ مئات الأقدام فوق سطح الأرض وسر هذه القوة الضخمة كامن في عمليات تتم على صورة متناهية الصغر في خلايا النبات وتتيح هذه العمليات لبعض النباتات قدرة خارقة على الحركة حتى إن منها ما تخشاه وتتحاشاه بعض الكائنات التي تزحف أو التي تطير.

أما النباتات التي تصيد الحشرات فهي مثال فذ للآفاق الرائعة للتطور. ومثل ذلك أيضاً النباتات الخناقة التي يجد القارئ وصفها في الجزء الخامس من هذا الكتاب؛ وهي متسلقات تلتف حول الشجرة حتى لتغطيها ثم لا تزال تضغط عليها وتخنقها حتى تموت وتحتل مكانها في الغابة، حتى ليقال إنها تؤكد أن فكرة الاختبار الطبيعي تتمثل في دنيا النبات كصراع بين مخلوقات ذات أنياب حادة ومخالب حمراء، على أن هذه النباتات نادرة، فالتكافل والتعاون في دنيا النبات أعم وأشمل، شأنها في ذلك شأن دنيا الحيوان. وأما المراحل المتتابعة لعودة الحياة النباتية إلى جزيرة كراكاناو، بعد الانفجار الهائل الذي أتى على الأخضر واليابس، فيجد القارئ وصفها في الجزء السادس كما ورد فيما رواه العلماء الذين زاروا الجزيرة. ويتمثل في هذه المراحل نموذج جميل لارتباط الأنواع المختلفة بعضها ببعض. ففي تتابع منتظم حملت الريح والماء والطيور بذور بعض النباتات التي نبتت ونمت وهيأت– بنموها هذا– المجال الصالح لأنواع أخرى

من النباتات، وهكذا تتابعت الأنواع حتى سادت الأشجار والحشائش واستعادت الجزيرة أحراشها وغاباتها. وهناك مثل آخر على تعاون وأقلمة العشيرة النباتية في الصحراء بالنسبة لقلة الماء، فالحوليات ذات العمر القصير والجذور السطحية، تتعجل نموها مبكراً، وبذلك تترك مكانها لغيرها. أما الشجيرات المعمرة التي يمتد نشاطها الحيوي خلال فصول السنة جميعاً، فلها صفات مميزة تختلف عن صفات الحوليات؛ فجذورها تغرز في الأرض مواد كيميائية تمنع نمو المزيد من النباتات ولو كانت من نفس نوعها، وبذلك تحفظ لنفسها كمية كافية من الماء في الأرض.

ولوحظت هذه الظاهرة أول الأمر في الصحاري، ثم ظهر أنها لا تقتصر على الحياة النباتية في الصحراء، بل إنها قائمة أيضاً في مناطق الأجواء الأخرى، ويظهر أن هذا التأقلم يعلل ظهور خليط متتابع من النباتات في الأماكن المزدحمة بالحياة النباتية.

ويتناول الفصل الأخير من الجزء السادس، الذي خصص للتطور وعلم البيئة، نظرة عامة للعشيرة، تشمل الحياة النباتية والحياة الحيوانية معاً؛ فألوان الزهر وأشكاله وعبيره من الوسائل المتعددة لاجتذاب النحل وغيره من الحشرات والطيور والخفافيش. وهى عوامل تعين على إتمام عملية اللقاح. والأزهار التي تلاقحها الريح غالباً ما تفتقر إلى صفات الأزهار الجميلة التي تلاقحها الحشرات.

والإنسان أحد العوامل الهامة في تطوير النباتات؛ فالثورة الزراعية يمتد تاريخها عبر القرون إلى عشرة آلاف سنة. وقد أصبح من العسير إرجاع نباتات المحاصيل إلى أصولها البرية التي استنبطها الإنسان منها. ولقد كان الإنسان حتى منتصف القرن الماضي، كالآلة في عملية الاختيار الطبيعي. وأصبحت نباتات

القمح والذرة مختلفة جداً عن أصولها من الحشائش البرية. وكان الإنسان قد تعلم بعد تكرار التجربة والخطأ أن يستغل بعض الحوادث الطبيعية، أما الآن فقد أصبحت تربية النباتات ترتكز على الإدراك العلمي لظواهر الوراثة. حتى صار استنباط وتطوير نباتات المحاصيل أكثر يسراً وأقل بطئاً، وأصبح في الإمكان استنباط أصناف جديدة من القمح والذرة لتلائم ظروف التربة والمناخ، أو لتقاوم آفات وأمراض جديدة، أو تكون أوفر غلة أو أيسر حصاداً، وقد كان لهذا التطور أثر واضح على المجتمع الإنساني. فما زال الإنتاج الزراعي في البلاد المتقدمة في ازدياد مطرد رغم تناقص الأيدي العاملة في الزراعة. وأدخلت الوسائل الحديثة في الفلاحة وتربية النباتات في بلاد كثيرة، مما زاد الغلة وكان له أثر واضح في رفع مستوى التغذية كما أصبح للذرة الهجين مكان مرموق في المجالات الزراعية، حتى ليمكن القول إن التاريخ سيذكر فكرة الذرة الهجين كأهم الأفكار الثورية التي ظهرت في أمريكا منذ إعلان الاستقلال، وسيجد القارئ قصة الذرة الهجين في الفصل الثالث من الجزء السابع من هذا الكتاب.

الجزء الأول

مواد النمو

الفصل الأول– الأوكسينات.. تأليف فيكتور شوكين

الفصل الثاني– التحكم في الإزهار.. تأليف أوبري و. نايلور

الفصل الثالث– تساقط الأوراق.. تأليف وليام ب. جاكوبز

الفصل الرابع– هورمونات جديدة.. تأليف فرانك ب. سالزبوري

الفصل الأول

الأوكسينات

عرف الكثير من الناس بالتأثيرات الهامة للهورمونات على أجسادهم بل وعلى شخصياتهم، ولكنهم أقل إدراكاً لأهمية الهورمونات في حياة الحيوان والنبات، وأثرها الحاسم في تنظيم التفاعلات الكيميائية التي يتضمنها النشاط الحيوي للكائن. والهورمونات النباتية، شأنها في ذلك شأن الهورمونات الحيوانية، مواد كيميائية تتكون في جزء ما من الكائن الحي وتؤثر على العمليات الوظائفية في أجزاء أخرى. ولا توجد في النبات غدد خاصة لإفراز الهورمونات، إنما تتكون في البراعم والقمم النامية. وقد أمكن استخلاص بعضها في حالة نقية، بل أمكن تخليق مركبات كيميائية ذات تأثير يماثل تأثير الهورمونات النباتية، مثلما أمكن تخليق عقاقير تشبه في تأثيرها الهورمونات الإنسانية. وبعبارة أخرى، يوجد في النباتات ما يقابل الأدرينالين (مادة طبيعية) والبنزدرين (مادة كيميائية صناعية لها نفس تأثير الأدرينالين).

وبفضل معرفتنا بهذه المواد، تتاح لنا قدرة فعالة للتأثير على الحياة النباتية، فهذه المواد الكيميائية الطبيعية والصناعية، والتي تسمى الأوكسينات، لها أثر بالغ في نمو النبات وسلامته حتى ولو استخدم منها النزر اليسير. وقد أصبحت هذه المواد في أيدي الفلاحين، يعتمدون عليها في مقاومة الأعشاب، وفي غير ذلك من الأغراض وما تزال مجالات استعمالها كالآفاق التي لم تتكشف بعد.

وقد كانت تجارب شارلس دارون على ظاهرة الانتحاء الضوئي، وهي ميل

النبات نحو مصدر الضوء، أول ما نبه الأذهان إلى وجود الهورمونات النباتية. ولقد كانت الظاهرة معروفة فيما قبل دارون، ولكنه كان أول من أوضح أن أجزاء معينة من النبات هي التي تتأثر بالضوء وتستجيب له ففي تجاربه على بادرات حب العصافير والشوفان والفول وغيرها. لاحظ أن النبات لا ينحني نحو الضوء الجانبي إذا غطيت قمته النامية بورق القصدير أو الزجاج الأسود. أما إذا غمر جسم النبات كله فيما عدا القمة في رمل أسود ناعم، فإن النبات ينحني نحو الضوء الجانبي حتى ليشمل الانحناء ساق النبات جميعها، فتميل عبر الرمل الأسود نحو مصدر الضوء. كما تبين دارون أنه إذا فصلت قمة النبات أو الجزء العلوي منها الذي لا يجاوز عشر البوصة (٢.٥ مليمتر) فإن البادرة لا تستجيب لظاهرة الانتحاء الضوئي. ومن هذه التجارب وغيرها استنتج دارون، كما جاء في كتابه المطبوع عام ١٨٨١ والمسمى "الحركة في النبات" أنه "عندما تتعرض البادرات لضوء جانبي فإن تأثيرات معينة تنتقل من الأجزاء العليا إلى الأجزاء السفلى وتسبب انحناءها نحو الضوء".

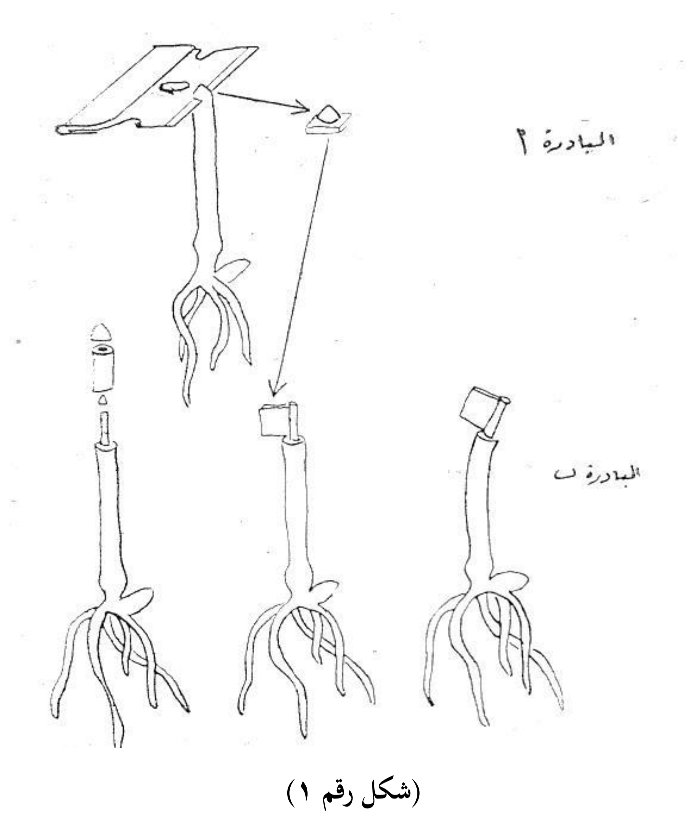
ولكن، كيف ينتقل هذا التأثير؟ وجد عالم النبات الدانمركي بويسن ينسن أنه إذا شق الجانب المظلم "البعيد عن الضوء" في قمة البادرة شقاً عريضاً، ووضع في الشق شريحة رقيقة من الميكا، فإن ذلك يوقف سريان المؤثر ولا تنحني البادرة النباتية نحو الضوء. أما إذا كان الشق في جانب البادرة المواجه للضوء فإن سريان المؤثر لا يتوقف وتنحني البادرة نحو الضوء كالعادة. واستنتج هذا العالم من ذلك أن المؤثر يسري من القمة إلى أسفل خلال الجزء المظلم من البادرة.

واستطرد هذا العالم في تجاربه فقطع قمة البادرة، وغطى السطح المقطوع من الساق بقليل من محلول الجيلاتين، ثم أعاد القمة المقطوعة إلى مكانها فوق

الجلاتين وثبتها في مكانها بزبد الكاكاو بينما ظل باقي البادرة في ظلام، فلما عرض القمة إلى إضاءة جانبية شاهد انحناء البادرة أسفل القطع نحو الضوء، واستنتج من ذلك أن المؤثر قد مر في طبقة الجلاتين (غير الحية) سارياً من القمة إلى ما دونها من أجزاء البادرة.

ثم جاء يال، بجامعة أترخت الهولندية، ودلل على أن ظاهرة الانتحاء الضوئي، تنتج بسبب اختلال في توزيع مادة منظمة للنمو في جانبي النبات. وقد أثبت أنه إذا قطعت القمة، ثم أعيد وضعها بحيث تغطي نصف مقطع ساق البادرة فإن النصف المغطى من الساق ينمو أسرع من النصف الآخر مما يسبب انحناء الساق. ولقد أيدت هذه التجربة وجود مادة منظمة للنمو تسري من القمة إلى ما دونها من أجزاء النبات. كما دلت أيضاً على أنه إذا تلقى جانب من جانبي الساق كمية أوفر من هذه المادة. فإنه يستطيل بسرعة تزيد على سرعة استطالة الجانب الآخر، وينتج عن ذلك انحناء الساق نحو الجهة قليلة النمو.

وعند هذا الحد من المعرفة أصبحت المشكلة هي استخلاص هذه المادة الغامضة. تابع ف. و. فنت بجامعة أترخت هذه الدراسات؛ فكان يقطع قمم بادرات الشوفان، ويضعها فوق قطع من الأجار، ثم ينزعها ويضع قطع الأجار وحدها على مقطع الساق المنزوعة قمته بحيث تغطي نصفاً واحداً دون النصف الآخر فشاهد انحناء الساق مما دله على سريان هورمون النمو إلى مادة الأجار، فلما وضعها على الساق انتقلت من قطعة الأجار إليه مما زاد سرعة نمو الجانب المغطى دون الآخر وأحدث انحناء الساق (انظر الشكل ١). وزاد فنت على ذلك أن شدة الأنحناء تتناسب مع عدد القمم التي انتقل منها هورمون النمو إلى قطعة الأجار. وبمثل هذه الطريقة أصبح في الإمكان قياس تركيز مادة النمو



(شكل رقم ١)

تجربة فريتس. و. فنت: الرسم الأعلى يبين البادرة (أ) وقد قطعت قمتها ووضعت على قطعة من الجيلاتين. الرسوم الثلاثة للبادرة (ب) تبين إعدادها للتجربة، ثم وضع قطعة الجيلاتين التي تلقت الأوكسينات من قمة البادرة (أ) ثم انحناء البادرة إلى اليمين نتيجة لتأثير الأوكسينات التي سرت من قطعة الجيلاتين. تعتبر زاوية الإنحناء مقياساً لكمية الأوكسينات الموجودة

في قطعة الأجار. وسميت هذه الطريقة القياسية "اختبار الشوفان".

وقد أثارت هذه الدراسات اهتمام علماء الكيمياء الحيوية فاهتموا ببحث هذه الهورمونات بعد أن أصبح في الإمكان معايرة تركيزها في المواد النباتية المختلفة. كما أصبح في الإمكان متابعة نشاط هذه الهورمونات وتأثيرها،

باستخلاصها وتركيزها أو بمعاملات كيميائية أخرى. وقد أتاح اختبار الشوفان وسيلة للتعرف على المواد الغنية بالأوكسينات. وهذا ما قام به فريتس كوجل وتلاميذه في جامعة أترخت ذاتها. حيث وجدوا في أثناء اختبارهم لمواد عديدة أن البول الإنساني غني جداً بمواد النمو. فبدأوا بكمية قدرها حوالي أربعين جالوناً من البول حصلوا عليها من مستشفى، وما زالوا بعمليات التركيز والاستخلاص المتتابعة حتى حصلوا على أربعين مليجراماً من بلورات ذات نشاط يعادل خمسين ألف مرة نشاط البول الأصلي. فهذا النزر اليسير من المادة، الذي لا يجاوز في حجمه نصف قيراط من الماس يكفي بعد إذابته وتخفيفه لإحداث انحناء شدته عشر درجات في كل من بليوني بادرة شوفان، وأظهر التحليل الكيميائي أن هذه المادة النشطة مركب جديد من:

ك١٨ يد٣٢ ا٥ وسمي حمض أوكسينتريوليك أو أكسين أ وفي نفس عام ١٩٣٤ أمكن، بطرق مماثلة من الاستخلاص والتركيز فصل مادة نشطة أخرى من زيت جنين الذرة، وظهر أن هذه المادة مماثلة لأوكسين أ وتركيبها الكيميائي هو: ك١٨ يد٣٠ أ٤ وسميت حمض أوكسينولونك أو أوكسين ب وأخيراً أمكن فصل مادة ثالثة من البول هي أندول حمض الخليك، وهي مادة كيميائية كانت معروفة للكيميائيين منذ خمسين سنة دون أن تعرف صفاتها كإحدى مواد النمو.

أثارت هذه الاكتشافات سؤالاً محيراً: أي هذه المواد الثلاث هي هورمون النمو الطبيعي في النبات؟ ظهر من الدراسات المتعلقة بالوزن الجزيئي والتركيب الكيميائي لهذه المواد أن أوكسين أ هو الهورمون الطبيعي، ولكن الدراسات الحديثة أظهرت أن أندول حمض الخليك موجود أيضاً في النبات. والواقع أن اكتشاف صفة أندول حمض الخليك كمادة من منظمات النمو، كان له أكبر الأثر على تنشيط الأبحاث العلمية المستفيضة التي تلت ذلك. وقد ظهر أيضاً

أن المركبات الكيميائية قريبة الصلة بأندول حمض الخليك، مثل أندول حمض البروبيونيك، ونافثالين حمض الخليك لها أيضاً القدرة على تنشيط النمو فأصبح لدى علماء النبات عدد من المواد العضوية ذات التركيب البسيط نسبياً مما يمكن استخدامه في التجارب. وأصبح أندول حمض الخليك يستعمل في اختبار الشوفان معياراً يقاس بالمقارنة إليه فاعلية المواد منشطة النمو ويجرى اختبار الشوفان على النحو التالي: تنبت بذور الشوفان المنتقاة بعد نزع أغلفتها على ورق ترشيح مبلل بالماء المقطر، ثم تنمي بعد ذلك في حوامل زجاجية، وعندما يبلغ طول البادرات حوالي البوصة (٢.٥سم) تقطع قممها ثم تقسم إلى مجموعتين، تعامل المجموعة الأولى بوضع قطع الأجار، التي تحوي قدراً معلوماً من أندول حمض الخليك على ناحية من نواحي مقطع الساق التي نزعت قمتها، أما المجموعة الثانية فتوضع عليها قطع أجار مساوية في الحجم والتركيب لقطع الأجار الأولى ولكنها تحوي المادة التي يراد اختبار شدة أثرها على النمو، وتترك البادرات جميعاً لمدة ٩٠ دقيقة تصور بعدها فوتوغرافياً وتقاس درجة انحنائها. وبمقارنة الإنحناء الذي تحدثه المادة التي يراد اختبارها بالإنحناء الذي تحدثه مادة أندول حمض الخليك يمكن إيجاد تقدير كمي لفاعلية المادة الجديدة.

وتابع العلماء دراساتهم بعد التعرف على الأوكسينات، فظهر أن لها أثراً فعالاً ليس فقط على نمو النبات بل على شكله وتركيبه أيضاً. فقد كان من المعروف أن أطراد نمو الساق الرئيسية يمنع نمو البراعم الجانبية، فإذا نزع البرعم القمي بدأت البراعم الجانبية في النمو وكان التعليل المتعارف عليه لهذه الظاهرة هو أن مواد معوقة للنمو تسري من القمة إلى ما دونها من الأنسجة. وقد أمكن إثبات هذا الرأي باستعمال مواد النمو المخلقة فإذا نزع البرعم القمي للساق، ووضع في مكانه قدر يسير من أندول حمض الخليك، فإن البراعم الجانبية تظل

ساكنة لا تنمو، أي أن أندول حمض الخليك الذي أثبتت التجارب أنه منشط للنمو، له أيضاً القدرة على تثبيط البراعم الجانبية.

تبين أيضاً أن للأوكسينات تأثيراً على تكوين الجذور، أي أن لها تأثيرات متعددة الأوجه. وقد كان لاكتشاف أثرها على تكوين الجذور أهمية كبرى في مجال التطبيق، ذلك لأنها تنشط تكوين الجذور على عقل النباتات. وتعرف هذه العملية بالتكاثر الخضري وهي ذات فائدة عظمى في زراعة البساتين، فهي وسيلة للمحافظة التامة على الصفات الوراثية جيلاً بعد جيل. وبها يمكن المحافظة على الصفات الخاصة لأنواع معينة من الفواكه كالتفاح أو البرتقال عديم البذور أو أصناف الورد ذات الألوان الخاصة. والعقلة في الغالب قطعة من الساق عليها بعض الأوراق، وفي بعض الأحيان قد تستخدم ورقة أو جزء من ساق أو جذر أو حتى حرشفة بصلة لبدء نبات جديد. ومعاملة العقل بمادة الأوكسين تساعد على الإسراع في تكوين الجذور كما تزيد في عددها وقوتها، حتى أصبح من أعمال البستنة غمس العقل في محلول الأوكسين، أو رشها بمسحوق هذه المادة وتوجد حالياً في الأسواق عشرات المواد التي يستعملها البستاني وصاحب الحديقة. ونذكر في هذا الصدد أن لمادة الأثيلين البترولية القدرة على تنشيط تكوين الجذور، ولها أيضاً القدرة على تنشيط نضج الثمار، ولوحظ أن غاز الأثيلين يتصاعد من ثمار بعض أنواع التفاح التي تتميز بسرعة النضج" ولو وضعت ثمار هذا النوع من التفاح مع طماطم خضراء فجة في إناء محكم فإن الطماطم تنضج سريعاً.

ومن صفات الأوكسينات التي تجعل لها أهمية اقتصادية، قدرتها على التأثير في الأزهار في بعض النباتات وخاصة الطماطم لتنتج الثمار دون تلقيح. ولهذه الظاهرة أهمية خاصة للزراعة في الصوبات حيث يصعب التلقيح لقلة الحشرات

وانعدام الريح. وفي مثل هذه الحالات ترش محاليل الأوكسينات على نباتات الطماطم المزهرة، فيزيد ذلك من إثمارها، والثمار التي تنتج بهذه الطريقة عديمة البذور عادة، وعلى ذلك فإن معاملة الأزهار بمادة الأوكسين تزيد المحصول، وتيسر استنباط أصناف من الثمار عديمة البذور.

وتستعمل مادة الأوكسين في حقول الأنناس، فقد كانت زراعة هذا المحصول تواجه صعوبة خاصة في التوقيت المناسب للتلقيح وإنتاج الثمار، والمشكلة هي توافق الإزهار مع مرحلة النمو المناسب، إذ لوحظ أن حجم الثمرة الناضجة يتناسب مع عدد أوراق النبات في وقت الإزهار. وتبين أن صنف الأنناس المسمى بكابيزونا والمعروف بضعف إزهاره وتواضع نموه الطبيعي، إذا عوامل مرة واحدة بمادة الأوكسين (نافثالين حمض الخليك، أو ٢.٤ دايكلوروفينوكسي حمض الخليك) فإنه يزهر في أي وقت من أوقات السنة. ومن هذا يتضح أن في الإمكان إنتاج ثمار متشابهة ذات حجوم مناسبة، باستعمال مادة الأوكسين عندما يكون الأوراق في النبات مناسباً.

ومع أن إزهار التفاح والكمثرى وإثمارها عمل لا يحتاج إلى تنشيط، فإن أصحاب البساتين يستعملون الأوكسينات لأغراض أخرى، فمن الأسباب الرئيسية لقلة المحصول في التفاح والكمثرى تساقط الثمار الفجة. والمعروف أن قدراً يتراوح بين ربع المحصول ونصفه يتساقط قبل أن تنضج الثمار أو تتلون، ولذلك فصاحب البستان عليه أن يختار بين جمع المحصول قبل النضج أو أن ينتظر تمام النضج، وفي ذلك خطر التساقط وقد دلت البحوث على أن رش نبات النجدة **coleus** (وهو جنس من العائلة الشقيقية يتميز بأوراقه المبرقشة الألوان) بمحلول الأوكسين يؤجل تساقط الأوراق. فلما طبقت هذه المعاملة على أشجار التفاح والكمثرى وجد لها أثر محمود، وأصبح للبستاني أن يطمئن

إلى محصول وافر ناضج باستعمال واحد من الأوكسينات التجارية المتعددة.

وثمة فائدة أخرى للأوكسينات بسبب قدرتها على تثبيط نمو البراعم الكامنة، تلك هي استعمال أحدها وهو نافثالين حمض الخليك المثيلي في منع إنبات براعم درنات البطاطس، مما ييسر تخزينها لمدة أطول في درجات الحرارة العادية. ومثل ذلك يقال عن تخزين بعض نباتات الزينة سريعة الإنبات.

وقد أضيف حديثاً إلى قائمة الأوكسينات، مركب كيميائي هو ٢.٤ دايكلوروفينوكسي الخليك، ويطلق عليه اختصاراً ٢.٤-٥. وقد لقيت هذه المادة اهتماماً زائداً لما لها من استعمالات متعددة، منها الإفادة من مقدرتها على إبادة الأعشاب الضارة، إذ وجد أن رش الحقول بهذه المادة يميت الأعشاب من النباتات ذات الفلقتين دون النجيليات. أي أن في الإمكان الاعتماد على هذه المادة في تطهير حقول قصب السكر والذرة وملاعب الجولف والمسطحات الخضراء، وإزالة أغلب الأعشاب دون أعمال العزق والتنظيف اليدوي الذي يحتاج إلى مجهودات كثيرة. ولا يقتصر تأثير هذه المادة على الإضرار بالنبات الذي يتساقط عليه، بل دلت التجارب على أن النباتات التي تتعرض لتأثير مادة ٢.٤- د تزداد فيها بسرعة عمليات التحول الغذائي المختلفة، ومنها عمليات احتراق الغذاء حتى ليسغب النبات ويموت جوعاً. أما إذا كانت مادة ٢.٤- د مخففة فإن لها تأثير الأوكسينات التي سبق ذكرها. وظهر أيضاً أنه يمكن استعمال هذه المادة لإزالة الفطريات التي تصيب أصابع أقدام الرياضيين. والواقع أن الاستعمالات المتعددة لمادة ٢.٤- د تظهر التأثيرات المختلفة للأوكسينات على حياة النبات والتي يلخصها ج متشل في كتاب الزراعة السنوي ١٩٤٣- ١٩٤٨ بقوله:

"وعلى سبيل المثال نذكر أن لو وضعت شذرة من مادة ٢.٤- د قدرها

جزء من المليون من الأوقية على جانب من ساق بادرة فول فإن خلايا ذلك الجانب ستنمو أسرع من خلايا الجانب المقابل، ومن ثم ينحني الساق. أما إذا خلط ما قدره ألفا ضعف لهذه الكمية من هذه المادة بدهن اللانولين ومسح المخلوط على الجزء الرخص من الساق فإن استجابة النبات تختلف؛ فالمواد الغذائية تنتقل إلى الجزء موضع المعاملة ويزداد انقسام الخلايا، ويتكاثر عددها، وتنتظم الخلايا الجديدة في بداءات جذور سرعان ما تنمو نحو الخارج فتبرز خلال سطح الساق. ولو غطى هذا الجزء بتربة مبللة لاستمرت استطالة هذه الجذور الجديدة واتخذت لنفسها وظائف الجذر العادية من امتصاص الماء والمواد الغذائية من التربة. أما إذا عفر النبات بمسحوق ٢.٤– د فإن النتيجة تختلف جداً، فإن نمو النبات يتوقف، وتزداد سرعة عمليات التنفس في النبات، وسرعان ما يستهلك الغذاء المختزن في النبات فيذوي النبات ويموت في مدى ثلاثة أسابيع من هذه المعاملة أو بعد المدة الكافية لاستنزاف غذائه المختزن".

ونستطيع بعد هذا العرض الموجز أن نتبين الشبه بين الهورمونات النباتية والهورمونات الحيوانية، إلا أن هذا التشابه ليس كاملاً فالهورمونات النباتية (الأوكسينات) تبدو أعم أثراً. فبينما يؤثر الهورمون الحيواني على وظيفة أو عملية حيوية بعينها، نجد أن الهورمون النباتي قد يؤثر على نواح متعددة من حياة النبات مما تظهره النتائج الملموسة: فهي أحياناً تنشط النمو وفي أحيان أخرى تثبطه، وربما نتج عن تأثيرها أورام نباتية وربما سببت موت النبات. والواضح أن الأوكسينات تؤثر على بعض النواحي الأساسية في الخلية، مما يظهر أثره على أشكال متعددة تختلف باختلاف طبيعة النبات، وعمر أنسجته، والمواد المتفاعلة داخل خلاياه، وعلى الظروف الأخرى خارج النبات وداخله.

وقد عكف كثير من الباحثين على محاولة تحديد المنهج الذي تؤثر به

الأوكسينات على النبات، واستجابة النبات لهذه المؤثرات، وذلك لأن إدراك العوامل المنظمة لنمو النبات ونضجه سيفتح أمام معارفنا آفاقاً جديدة لإدراك كنه الحياة ذاتها. وقد ظهرت عدة نظريات فتحت أبواباً جديدة للمزيد من البحث دون أن يكون بينها ما تؤيده الحقائق والمشاهدات الوافية التي تقطع بقبوله دون سواه. ولما كان للنزر اليسير من مادة الأوكسينات أثر على النمو، فقد عم الاعتقاد بأنها تؤثر على العمليات الأنزيمية بالتأثير المباشر (كمرافق أنزيمي مثلاً) أو بالتأثير غير المباشر (كوسيط كيميائي). ولم يتحدد بعد الأنزيم الذي يرتبط باستجابة النبات لتأثير الأوكسينات، ولكن الأمل معقود على الأبحاث والدراسات الجارية حالياً لترشدنا في القريب إلى التعرف على هذا الأنزيم وإلى تعليل تأثير الأوكسينات على النشاط الحيوي.

على أن خطى التقدم مستمرة في الثورة الكيميائية في مجالات الزراعة. ومستقبل القدرة على التحكم في سرعة ونظام نمو النبات باستعمال الأوكسينات ينبيء بعصر موفور الخيرات تحققه القدرة على التحكم في الطبيعة، وهو أمل مازال يبدو بعيد المنال.

الفصل الثاني

التحكم في الإزهار

عندما تتفتح أزهار الزعفران **crocus** فإنها تعلن قدوم الربيع، ثم تتتابع فصول السنة، وفي كل فصل تزهر نباتات أخر، كأنما تتبع توقيتاً محدداً، حتى أصبح هذا التقويم الزهري أمراً طبيعياً لا يثير الاستغراب. ولكنا نتساءل: ما سر هذا التوقيت المنتظم؟ لماذا لا يزهر الزعفران في شهر يوليو، ولماذا لا تزهر الطنبرجيه **black-eyed susans** في شهر أبريل ولا تظهر أزهار قضيب الذهب **Goldenrod** في شهر مايو؟

الإزهار يمثل تحولاً أساسياً في فسيولوجية النبات، تحول من إنتاج السوق والفروع والأوراق الجديدة، إلى إنتاج براعم تتفتح عنها الزهور ثم تنضج الثمار وبذور التكاثر. فأي صمام في حياة النبات قادر على إحداث هذا التحول؟. ولو توصلنا إلى إدراك الأسباب والعوامل التي يتأثر بها النبات فيتحول إلى الأزهار، لأمكننا أن نأمل تقدماً رائعاً في الزراعة وفي قدرتنا على التحكم في الطبيعة. ودراسة هذا الموضوع تبدأ عادة بتناول الظروف والعوامل البيئية التي تتحكم في نمو النبات وبلوغه كالحرارة والضوء والماء والغذاء الأرضي. فالخبرة الطويلة علمت البستاني الماهر كيف يجبر النبات– بالتحكم في هذه العوامل– على الإزهار في مواعيد تتطلبها مصالحه التجارية. على أن هذه الوسائل النابعة عن الخبرة فقط، لم تعاون إلا قليلاً على فهم العمليات الفسيولوجية التي يتحول بها النبات من النمو الخضري (أي إنتاج الأوراق الخضراء) إلى النمو الزهري.

ومن البديهي أن النبات، شأنه في ذلك شأن الحيوان، لابد أن يصل إلى مرحلة البلوغ قبل أن يزهر ويتكاثر؛ فأشجار الفاكهة مثلاً لا تزهر ولا تثمر قبل أن يبلغ عمرها عدة سنوات. ولا يزهر نبات الذرة قبل أن يكون له عدد من الأوراق يختلف باختلاف صنف الذرة وينمو في جامايكا نوع من الخيزران تنبت بذوره وينمو عنها نبات يستمر في النمو الخضري ٣٢ سنة يزهر بعدها مرة واحدة ثم يموت النبات. ويبدو أن دورة حياة هذا النبات ثابتة لا تتغير حتى إذا زرع هذا النبات في أي مكان آخر من الدنيا فإنه يحافظ على دورة حياته ويزهر بعد ٣٢ سنة دون زيادة أو نقص.

على أن الأسباب الحقيقية، التي يستجيب لها النبات فيزهر، لم تعرف بعد. فأحياناً يزهر النبات قبل موعده، شأنه في ذلك شأن الحيوان الذي يبلغ مرحلة النضج الجنسي قبل الأوان العادي، والمعروف أن في الإمكان دفع الحيوان إلى البلوغ المبكر إذا أزيلت أو تلفت غدته الصنوبرية (غدة في المخ) مما يسبب اختلالاً في التوازن الهورموني في الجسم، فيسرع به نحو النضج الجنسي وهذا يدل على أن للهورمونات دخلاً في نضج النبات وإزهاره. وقد اتخذت دراسة المراحل الفسيولوجية التي تسبت بدء النبات في إنتاج الأزهار نهجين أساسيين: الأول منهما يضع درجات الحرارة في الاعتبار، والثاني يضع طول النهار في الاعتبار.

أما عن الحرارة فمنذ ٣٥ عاماً اكتشف العالم الألماني جوستاف جاستر إمكان التأثير على إزهار نباتات الحبوب بالتحكم في درجات الحرارة عند الإنبات. وكان الشيلم rye واحداً من نباتات التجارب، وهو نبات شتوي يبذر في الخريف، وينبت في غضون الشتاء والربيع، ويزهر في الصيف فإذا تأخر البذر إلى الربيع نبتت البذور ونما النبات نمواً خضرياً دون أن يدخل في دور الإزهار

على أن البذور النابتة إذا حفظت قرب درجة الصفر لمدة معينة، ثم زرعت في الحقل في الربيع المتأخر، فإن النبات ينمو ويزهر ويثمر. وقد استخدمت هذه الطريقة لتحويل أصناف الحبوب الشتوية إلى أصناف ربيعية، وسميت هذه الظاهرة "بالارتباع". وكان الظن أن التعرض لدرجات الحرارة المنخفضة يؤثر على عمليات التحول الغذائي في النبات، ولكن ظهر أن عملية الارتباع تقبل الانعكاس، وأن التغير يحدث خلال فترة حاسمة مدتها أربعة أيام لا يمكن الانعكاس بعدها، وإن بادرات الشيلم لا يمكن لها الارتباع إذا قل غذاؤها ويدل هذا على أن الإزهار يعتمد على تكون مواد معينة في النبات، دون أن يتغير النظام الفسيولوجي جميعه.

أما الاعتبار الثاني، وهو استجابة النبات لطول النهار فيعبر عنه بظاهرة التواقت الضوئي، وهي أكبر أثراً من الحرارة، وجاء البحث في هذا المنهج أكبر نفعاً في مجالات التطبيق الزراعي، واكتشاف هذه الظاهرة يرجع إلى دراسات أجراها منذ ٣٠ عاماً عالمان أمريكيان و. جارنرو هـ. ألارد. وجد هذان العالمان أن أحد أصناف الطباق يتأخر إزهاره جداً إذا زرع في منطقة واشنجطن، وينتج عن هذا التأخير ألا تنضج البذور، وقد أجريا العديد من التجارب على زراعة هذا الصنف من الطباق تحت ظروف بيئية متعددة، حتى تيسر لهما الاكتشاف الهام وهو أن طول اليوم وقصر الليل هو العامل الذي يمنع إزهار هذا النبات. ففي منطقة واشطنجن لا يصل طول النهار إلى الحد الذي يزهر عنده النبات (١٠-١٢ ساعة) إلا في أواخر الصيف، ويتعطل إزهار النبات- رغم نضجه- لأنه لم يتلق التأثير المنبه إلا في وقت متأخر. واستطرد العالمان في دراساتهما للتحقق من صحة ما وصلا إليه من نتائج، وتناولت دراستهما أنواعاً متعددة من النبات، ووجدا أن النباتات تقع في ثلاث فئات: فئة اليوم القصير، وفئة

اليوم الطويل، وفئة بين بين لا تكاد تتأثر بطول النهار أو قصره. وقد فسرت ظاهرة التواقت الضوئي كثيراً من المسائل التي شغلت علماء النبات، منها ما يشاهد من إزهار نباتات الصنف الواحد في وقت واحد ولو اختلفت مواعيد زراعتها، ومنها كذلك نمو بعض النباتات فيما بين خطوط عرض معينة دون الأخرى.

ومثال ذلك أن عشب الدمسيس **ragweed** يبدأ في الإزهار عندما يكون طول النهار ١٤.٥ ساعة، ويكون ذلك في منطقة وشنجطن حوالي منتصف يوليو، فيزهر النبات وتتناثر حبوب اللقاح في منتصف أغسطس، ومازال في الصيف بقية تتيح للنبات أن تنضج بذوره وتنتشر قبل أن يأتي الصقيع. أما في المناطق الشمالية فلا يصل طول النهار إلى حد ١٤.٥ ساعة قبل أول أغسطس، ووقتها يكون الإزهار متأخراً فلا تتاح الفرصة الكافية لإنضاج الثمار والبذور قبل أن يدهمها الصقيع. فلو فرضنا أن الريح أو الطيور حملت بذور هذا العشب إلى هذه المناطق الشمالية فإن البذور قد تنبت، ولكن النبات لا يتكاثر هناك.. أما النباتات التي تنمو في الشمال فربما لا تزهر في الجنوب حيث أيام الربيع والصيف قصار. ونضرب لذلك مثلاً نبات الحيعالم **sedum telephium** الذي يدخل في طور الإزهار إذا كان طول النهار ١٦ ساعة أو أكثر. وهو يزهر في بهاء جميل في جنوبي منطقة فيرمونت ولا يزهر قط في منطقة فرجينيا. وكثيراً ما لفت جمال أزهاره الحدائقيين فحاولوا إدخاله إلى حدائقهم في مناطق بعيدة، فلاحظوا أن النبات ينمو خضرياً دون أن يزهر، ويرجع ذلك إلى أن طول النهار لا يصل إلى المدى المطلوب، وحساسية النبات لهذا العامل تعطل دخوله في طور الإزهار. ومثل ذلك يقال عن أنواع قصب السكر البري التي تزهر إذا بلغ طول فترة الظلام اليومية ١٠-١٢ ساعة، ولا يتأتى ذلك في

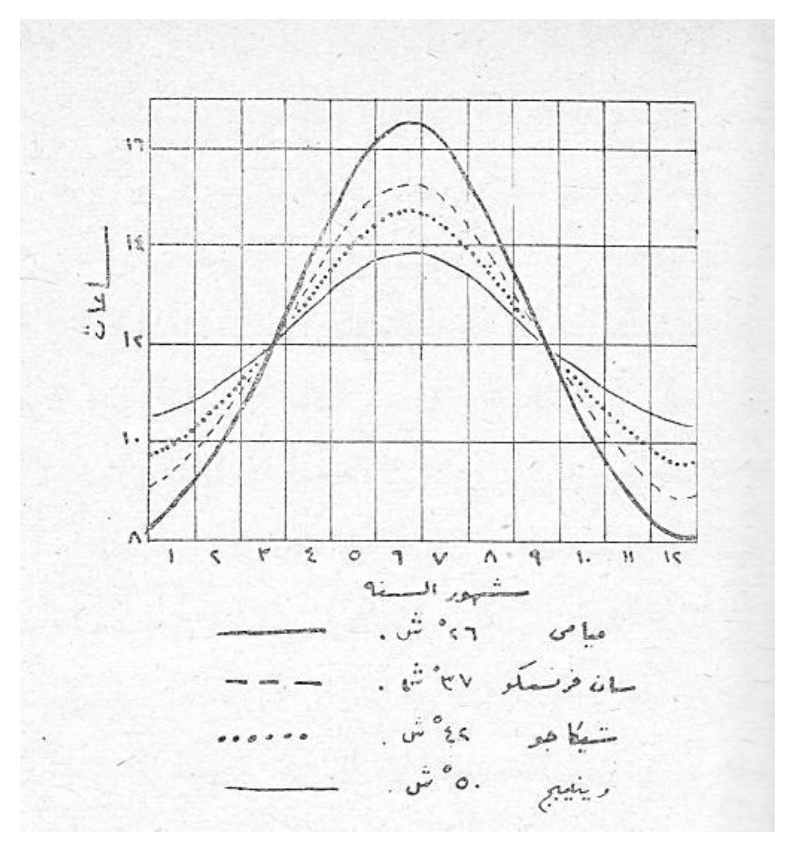
الظروف الطبيعية إلا في المناطق الحارة، وهي مناطق وجود هذه الأنواع. أما الإسفناخ فلا يزهر أو ينتج البذور في المناطق الحارة، لأنه يحتاج إلى نهار طويل لا يقل عن ١٤ ساعة خلال أسبوعين على الأقل، الأمر الذي لا يتحقق في المناطق الحارة القريبة من خط الاستواء. ويمكن أن يقال هذا على نباتات أخرى كثيرة.

ولقد كان اكتشاف الدور الهام الذي تلعبه ظاهرة التواقت الضوئي في تحديد مناطق النباتات ذا نتائج هامة بالنسبة للزراعيين وأصبحت وزارة الزراعة الأمريكية تعني بتحديد طول فترة التواقت الضوئي لكل نوع نباتي جديد يراد إدخاله إلى أمريكا. ونذكر على سبيل المثال أن الأصناف المختلفة لفول الصويا والبصل تظهر حساسية شديدة للتواقت الضوئي، فقد يجود محصول أحد هذه الأصناف في منطقة لا تتجاوز ١٥٠ ميلاً (٢٤٠ كيلو متراً) بين خطي عرض معينين ولا تفلح زراعة هذا الصنف شمال هذه المنطقة أو جنوبها. ومعرفة الاحتياجات الضوئية تعين على استباط أصناف وسلالات جديدة، فإذا أراد مربي النبات أن يهجن بين صنفين لا يزهران في وقت واحد فإن في استطاعته، بمعرفة احتياجاتها الضوئية، أن يدفعها للإزهار في وقت واحد بأن يعاملهما بالضوء الصناعي في الصوبة ويتيسر له عندئذ أن يهجن بينهما. وقد نجحت هذه الوسيلة في استنباط أصناف جديدة من المحاصيل ذات القيمة الاقتصادية العظيمة.

واستمرت الدراسة والبحوث عن ظاهرة التواقت الضوئي، وتكشفت عن مزيد من النتائج المدهشة. فبعد أن عرف أن النوع المعين من النبات يحتاج ليدخل في طور الإزهار إلى نهار له طول معين كان من المنتظر أن يتأثر هذا النبات فلا يزهر إذا أحيط بالظلام لفترة من النهار، ففي ذلك اختصار لطول

النهار. ولكن الغريب أن التجربة تكررت مراراً دون أن يتغير نظام الإزهار، أما إذا تعرض النبات لضوء صناعي ولو لفترة قصيرة أثناء الليل فإن النتيجة تختلف أشد الاختلاف. ونذكر على سبيل المثال الدلفيط **chrysanthemum** وهو من نباتات النهار القصير. فإذا تعرض هذا النبات في غضون فصل الأزهار لدقائق قليلة من الضوء الصناعي أثناء الليل، فإنه لا يزهر. أما الغرديب **Pyrethrum** وهو من نباتات النهار الطويل، فإذا تعرض للضوء الصناعي خلال الليل الطويل في غضون فصل النهار القصير الذي لا يزهر فيه عادة، فإنه يزهر في غير موسمه. وتثبت هذه التجارب أن العامل المحدد في التواقت الضوئي هو طول الليل وليس طول النهار. ولذلك فالأفضل أن تقسم النباتات إلى أنواع طويلة الليل، وأنواع قصيرة الليل بدلاً من تسميتها أنواع قصيرة النهار وأنواع طويلة النهار. ولهذه المعارف أهمية اقتصادية، ونضرب لذلك مثلاً بنبات الدلفيط، وهو من نباتات الزينة الشائعة؛ إذ أصبح في إمكان أصحاب حدائق الأزهار أن يؤخروا موسم إزهاره إلى ما بعد الخريف، والوسيلة هي تعريض النباتات إلى دقائق من الضوء الصناعي عند منتصف الليل.

ويزيد على أهمية هذه النتائج، ما استطرد عنها من أبحاث عن عملية الإزهار ذاتها. فقد أصبح من الواضح أن التفاعلات الكيميائية التي ترهص للإزهار تحدث ليلاً، وهي حساسة للضوء. وقد أظهرت التجارب أيضاً أن هذه التفاعلات تحتاج إلى وجود ثاني أكسيد الكربون، ويمكن الاستعاضة عنه برش محلول السكر على النبات؛ وأن هذه التفاعلات تعتمد على نوع من الإشعاعات الضوئية ذات موجات



(شكل ٢)

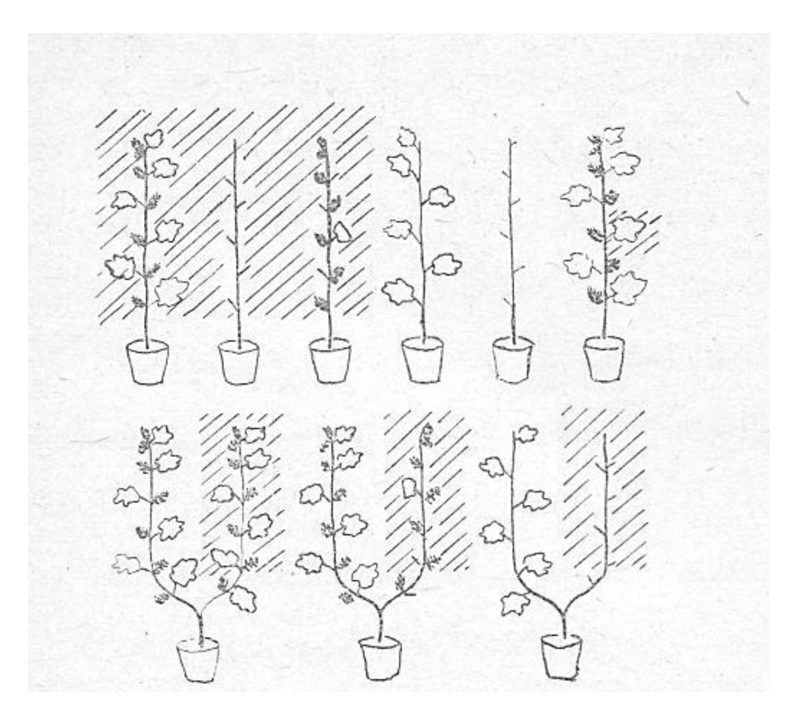
رسم بياني لطول النهار بالساعات في شهور السنة، في أربع مناطق من أمريكا الشمالية.
يحتاج إزهار الشبيط لفترة ظلام طولها ٩ ساعات أو أكثر، أي لنهار طوله ١٥ ساعة أو أقل ولذلك فنموه الخضري يستمر إلى ما بعد النضج ويتأخر ظهور البراعم الزهرية إلى ٣ أغسطس وهو موعد متأخر لأنه يعرض الأزهار للصقيع. أما في ميامي فالنبات يزهر حالماً يصل مرحلة النضج.

خاصة. ويدل هذا كله على أن الاستجابة للتواقت الضوئي مرتبطة بطريقة ما بعمليات التمثيل الضوئي، ولو أنه يبدو أنها تعتمد على صبغ غير الكلوروفيل لاستقبال الضوء.

ونعود مرة أخرى للسؤال الهام: ما الأساس الكيميائي لعملية الإزهار؟ افترض العالم الألماني العظيم جوليوس فون ساكس منذ مائة سنة، أن الأوراق تفرز "صانعة الأزهار" تنتقل إلى القمم النامية حيث تتكون الأزهار. وقد ظهر أول إثبات تجريبي لهذا الافتراض عام ١٩٣٤ في دراسات تمت في جهات متفرقة من العالم. وقد تناولت بعض هذه الدراسات نبات طويل النهار هو الإسفناخ فعندما عرضت أوراق النبات لفترات ضوء طويلة بينما غطيت قمة الساق النامية في غضون النهار لتكون معرضة لفترات ضوء قصيرة أزهر النبات كعادته كما لو قد تعرض جميعه لفترات الضوء الطويلة (النهار الطويل). فإذا عكست المعاملة، وعرضت القمم النامية لفترات ضوء طويلة، وعرضت الأوراق لفترات ضوء قصيرة، لم يزهر النبات كأنما عرض جميعه لفترات ضوء قصيرة. وقد تكررت هذه التجارب على نباتات مختلفة، وقام بها باحثون مختلفون في أنحاء العالم، مما أثبت أن العامل المنبه للإزهار ينشأ في الأوراق، ثم ينتقل إلى الساق ومنه إلى القمم النامية حيث تتكون الأزهار.

وسرعان ما تجمعت نتائج الأبحاث وفيها المزيد من البراهين على صحة هذا الرأي. ومنها الأبحاث التي أجريت على نبات بري من جنس الشبيط **cocklebur**. وهو من نباتات النهار القصير، ويعتبر من أصلح النباتات لتجارب أبحاث التواقت الضوئي. فللنبات حساسية تبلغ حد الاستجابة لفروق تقل عن ٣٠ دقيقة في فترة الظلام. كما أن تعريضه مرة واحدة لفترة ظلام مدتها تسع ساعات يكفي لتنبيه النبات إلى الإزهار. أضف إلى ذلك أنه يحتمل الكثير من الإتلاف والتقطيع مما قد تقتضيه التجارب. وفي التجربة الأولى، نزعت عن النبات أوراقه جميعاً، وعرضت الساق العارية لفترات تسع ساعات ظلاماً، ولم يزهر النبات. فلما ترك على الساق ورقة أو جزء لا يتجاوز ثمن الورقة، أزهر

النبات بعد تعرضه للمعاملة الضوئية المناسبة. ومضت التجارب على نباتات من هذا الشبيط، لكل منها فرعان رئيسيان (نشئا بطريقة التطعيم) وأثبتت هذه التجارب أن العامل الذي ينبه الإزهار يمكن أن يسري صاعداً في الساق وهابطاً فيه لينتقل من فرع إلى آخر، بل قد أمكن إجراء قياس تقريبي لسرعة سريان هذا المنبه.



(شكل ٣)

تجارب على نبات الشبيط. التظليل في الرسم عبر عن المعاملة الضوئية المناسبة. في النباتات العليا أزهرت النباتات التي تعرضت لفترات الضوء المناسبة. ويكفي وجود ورقة واحدة أو جزء من ورقة على النبات ليستجيب لدوافع الإزهار. أما إذا نزعت الأوراق جميعاً فلا يزهر النبات. كما يبين الرسم في أقصى اليمين أن يكفي أن يتعرض جزء من النبات به ورقة واحدة للمعاملة الضوئية المناسبة ليزهر النبات. في النباتات السفلى ذات الفرعين تبين التجربة أن العامل منشط الإزهار ينتقل من فرع إلى فرع.

وقد اهتم كثير من علماء النبات بهذه الدراسات فتابعوها مستعملين في تجاربهم أنواعاً متعددة من النباتات وأبدت نتائج كل هذه الدراسات وجود منبه للإزهار. ومن الطريف أنه أمكن تنبيه نبات للإزهار بتطعيم ساقه بورقة واحدة من نبات مزهر أو بورقة سبق تعرضها للإضاءة المناسبة وثبت أيضاً أن المادة المنبهة يمكن أن تسري عبر عقد تطعيم متعددة. وظهر أن هذه المادة لا تختلف من نبات إلى آخر إنما يبدو أنها مادة واحدة عامة التأثير، إذ أمكن تنبيه نبات للإزهار بتطعيم ساقه بورقة من نبات مزهر ينتمي إلى صنف أو نوع أو جنس أو عائلة مختلفة بل ظهر أن نباتاً طفيلياً ينمو على جذور البرسيم الأحمر يتلقى مادة التزهير من النبات العائل.

كيف يمكن أن يكون العامل المنبه للإزهار واحداً في النباتات المختلفة التي يحتاج بعضها إلى نهار طويل والبعض الآخر إلى نهار قصير؟ من الفروض المقترحة للإجابة على هذا السؤال أن تأثير المادة الفعالة يعتمد على مدى تركيزها، فهي تنبه الإزهار إذا كانت في كميات قليلة وتثبيطه إذا كانت في كميات عالية التركيز. ويقول أصحاب هذا الرأي إن النبات ينتج هذه المادة عندما يصل إلى درجة النضج اللازمة للإزهار، ولكن هذه المادة لا تحتمل الضوء. ولتعليل ظاهرة نباتات النهار الطويل يقال إن المادة المنبهة تحتمي بطريقة ما من أثر ضوء النهار فلا يهبط تركيزها دون المعدل اللازم للتزهير. ومثل هذه النباتات تزهر حتى ولو تعرضت للضوء الدائم. والمادة تتجمع أثناء الليل ويزداد تركيزها فإذا طال الليل بلغ تركيزها الحد الذي يثبط الإزهار، وهذا ما يحدث في شهور الليل الطويل، فإذا تعرض النبات في منتصف هذا الليل الطويل للضوء الصناعي تأثرت المادة المنبهة وقل تركيزها إلى الحد الذي ينشط

الإزهار. أما في تعليل ظاهرة النهار القصير، فيقال إن المادة المنبهة للإزهار ليس لها ما يحميها من أثر النهار الضار. ولذلك فالنبات يحتاج إلى ليل طويل تتراكم فيه هذه المادة إلى درجة تكفي لتنبيه الإزهار وتنشيطه.

وقد تواترت الأدلة القاطعة على وجود مادة الهورمون المنشط للتزهير، حتى اقترح تسميتها "الفلوريجين" (منتج الأزهار). ولما كان لمثل هذه المادة الفعالة إمكانيات تطبيقية عظيمة. فقد بذلت جهود كثيرة لاستخلاصها، دون أن يصادفها التوفيق بعد ومن الصعوبات التي تواجه استخلاص هذه المادة والتعرف عليها، إننا نجهل الوسيلة المناسبة التي يلزم استعمالها لإدخال المادة إلى النبات لتنبهه للإزهار. ومن هنا يختلط الأمر ولا يتبين الباحث سبب فشله. أهو عدم العثور على المادة ذاتها أم هو الجهل بطريقة استعمالها لتنبيه الإزهار.

ويعتقد بعض الباحثين أن الهورمونات النباتية المعروفة هي نفسها منبهات التزهير، وهم بذلك يثيرون الشكوك في وجود مادة خاصة لتنشيط التزهير كالفلوريجين. ويقول هؤلاء العلماء إن الهورمونات تنظم التزهير كما تنظم النمو الخضري. ونذكر في هذا الصدد أن التجارب أظهرت أن نبات الشبيط إذا تعرض لفترات ضوء طويلة (وهي غير مناسبة للتزهير) فإنه ينتج هورمون أندول حمض الخليك بكميات أكثر مما ينتجه عند تعرضه لفترات ضوء قصيرة. وقد يدل ذلك على أن مادة الأوكسين تثبط التزهير. فإن صح هذا الرأي فإن أي معاملة تقلل من أثر الأوكسين أو تتلفه تؤدي إلى تنشيط الإزهار، وأي معاملة لزيادة كمية الأوكسين في النبات تؤدي إلى تثبيط الإزهار. وهذا بالفعل ما أثبتته التجارب. فإذا عوجلت نباتات الشبيط بالأشعة السينية أو ببعض الكيميائيات التي تتلف الأوكسين أو تذهب بتأثيره، فإن الإزهار يزداد عددها؛ أما إذا عوجلت النباتات بمادة الأوكسين فإن الإزهار تقل. وقد تمكن الباحثين من منع

التزهير في نبات الشبيط بمعاملته بمادة أندول حمض الخليك. كما أمكن تأخير التزهير في بعض النباتات بمعالجتها بهرمونات أخرى. وقد تواترت الدلائل على أن النباتات تنتج بعض المواد التي تضاد الأوكسين في تأثيرها مما يدل– بطريق غير مباشر– على أن تنظيم عملية التزهير يعتمد على التوازن بين الأوكسينات ومضاداتها في النباتات. والواقع أننا لم نزل بعيدين عن إدراك كنه الأسباب الغامضة للتزهير. وما زلنا في حاجة إلى المزيد من البحوث لتحديد المواد التي تدخل في عملية التزهير، وكيف يتم تكوين هذه المواد في النبات وكيف تتفاعل.

على أن نتائج البحوث التي تمت تتيح لنا من المعارف ما يمكننا من التحكم بالطرق الكيمياوية في إزهار بعض النباتات. من ذلك نبات "الأنناس" إذ كان من أسباب ارتفاع تكاليف هذا المحصول أن النباتات لا تزهر بانتظام مما يلزم الزارع أن يعود إلى الحقل مراراً ليجمع ما ينضج تباعاً من الثمار. وقد تغير ذلك الآن بعد اكتشاف مواد عديدة لها القدرة على التحكم في إزهار نباتات الأنناس، منها الأسيتيلين ونافثالين حمض الخليك. فإذا عومل الحقل بمثل هذه المواد أزهرت النباتات جميعاً في انتظام رائع بعد فترة تتراوح بين ستة وثمانية أسابيع. ونتيجة لذلك تنضج الثمار في وقت واحد، ويمكن جمعها بالطرق الآلية الحديثة.. والطريقة المتبعة عادة هي رش النباتات بمادة نافثالين حمض الخليك. ولكن لهذه المعاملة ضرراً هو أنها تؤدي إلى ضعف السوق حاملة الثمار مما يعرضها للتهاوي، ويمكن إصلاح هذا الضرر برش النباتات في الوقت المناسب بمادة ب– نافثوكسي الخليك. ويقول أحد الباحثين في هذا الميدان، إن أصحاب مزارع الأنناس مازالوا يطلبون المزيد كأنما يريدون أن تنضج الثمار لتناسب مقاس علب الحفظ.

ومن الآمال التي يعقدها أصحاب المزارع في هاواي على المعاملات

الكيمياوية، إمكان التوسع في إنتاج ثمار جوز الليتش، وهي من ألذ الفواكه الإستوائية، فأشجار الليتش تنمو في هاواي دون أن يزهر منها إلا القليل حتى لا يكاد يثمر غير ٤٥٪ من الأشجار. وتدل التجارب على أن رش الأشجار بمادة نافثالين حمض الخليك في أواخر سبتمبر يزيد نسبة الأشجار المثمرة إلى ٨٨٪. وتطبيق نتائج هذه التجارب قد يتيح لجزر هاواي مصدراً جديداً من مصادر الثروة.

وأجريت تجارب على بعض محاصيل الخضر والحبوب. ومن النباتات التي استجابت لهذه المعاملات نباتا الخس والكرفس. وتزرع هذه النباتات لمحصول أوراقها الخضراء دون الأزهار والثمار. ولذلك فالمطلوب هو منع تزهير هذه النباتات لأن التزهير والإثمار يقلل من قيمتها في السوق وقد نجحت التجارب في حل هذه المشاكل. فأمكن تأخير إزهار نبات الخس بمعاملة البذور النابتة بالبرودة وببعض الكيميائيات. أما الكرفس فقد تم اكتشاف مادة تؤخر إزهاره. ومادة أخرى تعجله. فإذا كانت زراعته لإنتاج محصول ورقي مما يصلح للمائدة استعملت المادة الأولى. أما إذا كانت زراعته لإنتاج البذور استعملت المادة الثانية. والطباق كذلك من النباتات التي يستحب منع تزهيرها، وتبشر التجارب خيراً في هذا الصدد.

وربما كانت الذرة من أهم النباتات التي تجرى عليها مثل هذه التجارب، فالمعروف أن الذرة هي أهم المحاصيل الأمريكية. وقد استهدفت التجارب غرضين: الأول تنظيم مواعيد الإزهار بحيث يمكن التهجين بين أصناف معينة لا تزهر عادة في نفس الوقت، والثاني هو استنباط مواد كيمياوية لتعقيم سنابل الأزهار المذكرة إذ أن إنتاج الذرة الهجين يقتضي تعقيم الأزهار المذكرة حتى لا يلقح النبات نفسه فينتج حبوباً من صنفه، فالمقصود هو إنتاج هجين من

التلقيح الخلطي بين أصناف مختلفة وأن تكون حبوب اللقاح من نباتات منتخبة والطريقة المتبعة حالياً هي "تطويش" النباتات، أي تقطيع السنابل الذكرية باليد. وهي عملية كثيرة النفقة. والتعقيم بالمواد الكيميائية سيكون أيسر وأقل نفقة. وتبشر التجارب بالنجاح، فرش النباتات بمادة ٢.٤-د الذائعة الصيت، يؤخر الإزهار دون الإضرار بالكيزان. كما يمكن تعقيم السنابل الذكرية باستعمال مادة ماليك هيدرازيد المثبطة للنمو.

وعلى العموم، تبشر نتائج التحكم الكيميائي في التزهير بالخير وقد كانت النتائج في بعض الحالات باهرة حقاً، والمستقبل يبدو أكثر إشراقاً وعندما يتم إدراك وفهم ظاهرة الإزهار فإن التقدم في هذا المضمار سيكون أسرع وربما يكون في الإمكان تزهير بعض النباتات التي يندر إزهارها.

الفصل الثالث

تساقط الأوراق

إن تساقط الأوراق الصفراء والجافة يعني قدوم فصل الخريف ولكن تساقط الأوراق لا يقتصر على هذا الفصل، وإنما يستمر في المناطق المعتدلة خلال فصل الصيف. وأما في المناطق الحارة فيستمر تساقط الأوراق قليلاً قليلاً، خلال العام كله. والنباتات تسقط عنها أجزاء أخرى غير الأوراق، كبعض الثمار، والأزهار وغيرها من الأعضاء التي ينخر فيها القدم. وهي ميزة تغبط عليها النباتات، لأن الحيوانات محرومة من تجديد ما يشيخ من أعضائها وأطرافها، ولو كان للإنسان مثل هذه القدرة لما احتاج الرسام العظيم رينوار أن يربط فرشاه إلى يده المرتعشة من أثر الشيخوخة ليرسم الصور التي يبدعها ذهنه الشاب.

وما برح علماء النبات خلال قرن من الزمان، يستكشفون أسس ظاهرة تساقط الأوراق. ولعل ما لفت الأنظار في مستهل هذه الدراسات وجود طبقة خاصة من الخلايا قرب قاعدة الورقة تنفصل عندها الورقة، وسميت هذه الطبقة بحلقة الانفصال. ولكن سرعان ما ظهر أن حلقة الانفصال لا تعلل سقوط الأوراق، فالكثير منها يسقط دون أن تكون فيه هذه الحلقة، بينما يتم الانفصال بعيداً عنها في كثير من النباتات التي توجد فيها.

ومهما يكن التعليل الفسيولوجي لتساقط الأوراق، فالواقع أنه أسرع وأوضح في الخريف عندما يقصر النهار. وقد أثبتت ذلك تجارب دلت على أن

إطالة النهار بالضوء الصناعي يحفظ على الأشجار أوراقها لمدة أطول. ولكن الدراسات أظهرت أن هناك عوامل أخرى يتأثر بها تساقط الأوراق. ومن أهم ما يذكر في هذا الصدد تجارب أجريت منذ حوالي ١٠٠ سنة، أظهرت أن فصل نصل الورقة أو تمزيقه يفضي إلى سقوط عنق الورقة. وقد أعيدت هذه التجارب حديثاً على نطاق واسع. ولكنا نذكر قبل أن نستطرد في وصف هذه التجارب أنها لم تتناول الأشجار الضخمة التي لا تصلح كمادة للتجارب لارتفاعها وصعوبة تسلقها على الباحثين. لذلك يجري الفسيولوجيون عادة تجاربهم على النباتات التي يمكن زراعتها في الصوبات الزجاجية. ومثلهم في ذلك كمثل علماء بيولوجيا الحيوان، فلا تتناول تجاربهم الفيلة الضخمة، إنما تتناول الفيران وأمثالها. وأغلب التجارب التي أجريت لدراسة تساقط الأوراق كانت على نبات النجدة coleus والمشاهد أن هذا النبات يحفظ على ساقه، عندما يزرع في الصوبات الزجاجية، عدداً يكاد يكون ثابتاً من الأوراق. ففي كل سبعة أو عشرة أيام يسقط أكبر زوج من الأوراق سناً (الزوج السفلي) بينما تتفتح قمة الساق عن زوج جديد من الأوراق. ولهذا النبات مزية أخرى هي سهولة تكاثره بالعقل حتى ليمكن تربية عدد كبير من النباتات المتجانسة من ناحية التركيب الوراثي وذلك باستنباتها من عقل نبات واحد. وقد أجرى مؤلف هذا الفصل تجربة على ٣٠٠٠ نبات يرجع أصلها إلى نبات واحد. وبهذا التجانس الوراثي التام في النباتات يسهل اختبار تأثير كافة المعاملات بالاعتماد على عدد محدود من النباتات في كل عينة.

للورقة جزءان رئيسيان: النصل والعنق وقد سبقت الإشارة إلى أن فصل النصل يتبعه سقوط العنق عن الساق. وعلى سبيل المثال نذكر أن الورقة الصغيرة من نبات النجدة تسقط طبيعياً بعد مضي ٣٥ أو ٤٠ يوماً. ولكن

مثل هذه الورقة تسقط في مدى ٥–٦ أيام إذا فصل نصلها، أما إذا ترك من النصل جزء ولو يسير، فإن هذه الورقة لا تسقط قبل الأوان الطبيعي. ويدل ذلك على أن النذر اليسير من مادة معينة في النصل يسبب بقاء الورقة ويمنع سقوطها. ولا يمكن والأمر كذلك أن تكون هذه المادة من المواد الغذائية كالسكر وغيره، إنما هي على الأرجح من الهورمونات النباتية.

وسرعان ما أمكن التعرف على هذا الهورمون، وظهر أنه الأوكسين وقد أوضح أحد العلماء الألمان أن معاملة الأوراق، المنزوعة أنصالها بالهورمون، تساعد على استمرار نموها، وكذلك تطيل بقاءها على الساق أي يتأخر سقوطها، وقد ثبت فيما بعد أن أوراق نبات النجدة تنتج كميات كبيرة من مادة الأوكسين، وأن هناك علاقة إيجابية بين كمية ما ينتج من هذه المادة في النصل ومدة بقاء الورقة. وأسرع الأوراق نمواً أكبرها إنتاجاً لمادة الأوكسين. ويبلغ الإنتاج ذروته عندما يكون طول الورقة بين ٦٠ و١٠٠ مليمتر، أما الأوراق كبيرة السن فتنتج قليلاً من الأوكسين أو لا ينتج منها شيئاً وتتابعت التجارب التي استعمل في إجرائها الأوكسين المركب صناعياً وجاءت بنفس النتائج السابقة. وخلاصة القول إن الأوكسين يتكون في نصل الورقة ويسري إلى العنق فيمنع سقوط الورقة حسب درجة تركيزه. وقد أيدت ذلك تجارب أجريت على أوراق وعلى ثمار نباتات عديدة، حتى لقد أصبح رش أشجار التفاح بمادة الأوكسين من المعاملات الزراعية العادية لمنع سقوط الثمار قبل نضجها. وقد اتسمت نتائج هذه التجارب بالوضوح، بل الوضوح الزائد. وكثيراً ما يتضح أن التعليلات المبسطة للظواهر الطبيعية إنما ترجع إلى بساطة تفكيرنا وليس إلى بساطة الظاهرة الطبيعية.

ووما يلفت النظر أن كل ورقة تبدو كوحدة مستقلة، يعتمد بقاؤها أو

سقوطها على كمية الأوكسين التي تسري من نصلها إلى العنق. ولكننا نعلم أن تطور جزء من النبات يتأثر تثبيطاً أو تنشيطاً بالمؤثرات النابعة من الأجزاء الأخرى. ولذلك يساورنا الشك في النظرية القائلة إن عملية سقوط الورقة الواحدة مستقلة عما يحدث في باقي أجزاء النبات. أضف إلى ذلك أن التجارب التي اعتمدت عليها هذه النظرية، تناولت الظروف والأسباب التي تمنع الورقة من السقوط دون أن توضح الظروف التي تسبب سقوط الورقة. وبهذه الشكوك التي ساورت مؤلف هذا الفصل، عكف على تجارب مستفيضة ليختبر تأثير للأجزاء المختلفة من النبات. وقد تضمن ذلك محاولات عديدة وتصنيفات مختلفة للأوراق التي تنزع أنصالها. وأوراق نبات النجدة تنتظم في أزواج متقابلة، أي أن الساق يحمل عند كل عقدة ورقتين متقابلتين، ويتعاكس وضع الورقتين عند العقدة مع ورقتي العقدة التي تليها والعقدة التي تسبقها. وقد جرت التجارب عادة على قطع نصل إحدى الورقتين المتقابلتين وملاحظة ما يجرى عليها مع ترك الورقة الشقيقة للمقارنة. ولو كان سقوط الورقة يعود إلى ظروفها الذاتية المستقلة عما دونها من الأوراق لتوقعنا ألا يكون لاختلاف نظام تقطيع الأنصال أو عدد الأوراق المنزوعة أنصالها، أثر على تساقط الأوراق الباقية. ولكن التجارب أظهرت أن هناك علاقات تأثرية، فإذا قطعت أنصال الأوراق جميعاً عدا أوراق برعم القمة، فإن سقوط الأعناق يتأخر أما إذا بقي عدد من الأوراق الكاملة على الساق فإن ذلك يسرع سقوط الأعناق المنزوعة أنصالها، بل وبسقوط الأوراق المسنة التي لم تنزع أنصالها. أما إذا نزعت أنصال الأوراق النامية فإن الأوراق المسنة تبقى على الساق لمدة أطول من المعتاد، ومن هذه التجارب يبدو أن الأنصال تنتج بالإضافة إلى الأوكسين الذي يمنع سقوط الأوراق مادة أخرى تعجل من سقوطها. فما هي هذه المادة؟ إنها على الأرجح الإيثيلين، فالمعروف أن هذا الغاز يسبب سقوط الأوراق، كما ظهر

حديثاً أنه يوجد طبيعياً في أنسجة النبات، وينطلق من الثمار أثناء نضجها ومن بعض الأوراق. ولكن تجاربنا الكثيرة لم تثبت أن الإيثيلين المنبعث من الأوراق يعجل من سقوطها.

ولا يبدو أن المراجع والمقالات العلمية المنشورة تحوي ما يوضح غوامض هذا الأمر. لذلك عاود مؤلف هذا الفصل فحص الموضوع بتجاربه الخاصة. ولاحظ أنه أغفل الأوراق الصغيرة التي يشتمل عليها البرعم القمي. وأن كل المعاملات التي عجلت بسقوط الأوراق السفلي عن الساق، قد عجلت أيضاً نمو هذه الأوراق القمية. وظهرت العلاقة بين هذا النمو وموعد سقوط الأعناق المنزوعة أنصالها. تسقط هذه الأعناق عندما يصل طول الورقة النامية إلى حوالي ٧٠ أو ٨٠ مليمتراً. والسؤال الذي يراودنا: ما هي الأهمية الخاصة لهذا الطول المعين في الأوراق القمية؟

والإجابة على ذلك أن إنتاج الأوكسين يبلغ ذروته في الورقة عندما تصل إلى هذا الحجم. ويبدو أن السبب الرئيسي للتعجيل بسقوط الأوراق منزوعة الأنصال هو إنتاج الأوكسين في الأوراق القمية النامية. أضف إلى ذلك أن وجود بعض الأوراق الكاملة على الأجزاء السفلى للساق يعجل من سقوط الأوراق بطريق غير مباشر، وذلك لأن وجودها يعجل نمو الأوراق القمية، ولإثبات ذلك أجريت التجربة التالية: عوملت نباتات كثيرة بفصل أنصال أوراقها العليا الصغيرة دون السفلى، فظهر – كما شوهد في تجارب سابقة – أن وجود الأوراق السفلى الكبيرة السن عجل من تساقط أعناق الأوراق العليا التي نزعت أنصالها ويحدث هذا طالما بقى البرعم القمي أما إذا أعيدت التجربة مع قطع هذا البرعم فإن سقوط الأعناق يتم ببطء. فإذا وضع مكان البرعم القمي المقطوع قدر من مادة الأوكسين المركبة صناعياً، تساقطت أعناق الأوراق

بسرعة كما لو كان البرعم القمي في موضعه. وبذلك تأكيد ما سبق حدسه وهو أن أوكسين البرعم القمي يعجل من تساقط الأوراق التي نزعت أنصالها.

ولقد أوضحت التجارب الكثيرة التي لا يتسع المجال لذكرها، أن سقوط الأوراق يتأثر بحالة التوازن في الأوكسين. فهو يعجل سقوط الأوراق، وهو أيضاً يبطئ هذا السقوط فطالما أنتجت الورقة في نصلها قدراً من الأوكسين يكفي للتغلب على أثر الأوكسين الهابط من الأوراق الصغيرة من أعلا الساق، بقيت الورقة. أما إذا انخفض إنتاج الأوكسين في الورقة عن الحد الحرج (نتيجة لكبر السن، أو أثر الظل، أو هجوم الحشرات، أو فصل النصل) فإن الأوكسين الهابط من الأوراق صغيرة السن النامية يسبب سقوط هذه الأوراق السفلى. أي أن الأوراق الهرمة غير المتماسكة تسقط بتأثير الأوكسين الذي تنتجه الأوراق الشابة النشطة.

ولعل ما يثير العجب أن يكون للهورمون الواحد القدرة على تعجيل سقوط الأوراق وعلى إبطائه. ويبدو أن التأثيرين المتضادين مرتبطان باتجاه سريان الهورمون. وليس لنا إلا أن ندهش لهذا الاقتصاد الطبيعي إذ جعل في النبات مادة واحدة تقوم بأعمال وتأثيرات متعددة.

ولنترك نبات النجدة والتجارب عليه، ونتناول الأشجار التي نعلم عنها القليل في هذا الصدد، لأن التجارب الشاملة لم تتناولها بالبحث والدراسة. ومن المشكوك فيه أن التجارب ستتناول الأشجار الضخمة في المستقبل. فلإجراء التجارب على ٣٠٠٠ شجرة من نوع واحد ومتجانسة من ناحية التكوين الوراثي، على نحو ما أمكن في تجارب نبات النجدة، يلزم زراعة حوالي ١٠٠٠٠ شجرة ليتسنى انتقاء العدد المطلوب من بينها.

على أن هناك من الأسباب ما يبرر اعتقادنا بأن ظاهرة التوازن بين

الأوكسين التي تغلل سقوط الأوراق في نبات النجدة، يمكن أن تعلل أيضاً تساقط أوراق الأشجار. فزيادة طول النهار بالضوء الصناعي، تزيد كمية الأوكسين التي تنتجها أنصال الأوراق. والنمو السريع للفروع والأوراق في فصل الربيع يصاحبه ازدياد في إنتاج الأوكسين في ذلك الفرع النامي، ويبدو أن ذلك يعجل من تساقط الأوراق المسنة عن الفروع القديمة.

ولم تتوافر لدينا الأدلة بعد على أثر الأوكسين في سقوط الأوراق في فصل الخريف. وحتى تتوافر هذه الأدلة، فإننا سنفترض أن الكائنات تتشابه في نشاطها البيولوجي إلى أن يثبت لدينا عكس ذلك. وبناء على هذه القاعدة، التي كثيراً ما يركن إليها علماء البيولوجيا، فإننا نقول إن أوراق الأشجار، شأنها في ذلك شأن أوراق نبات النجدة، تبقى على سوقها إلى أن يقل إنتاج مادة لأوكسين فيها عما تنتجه الأوراق الأخرى، فتتساقط.

الفصل الرابع

هورمونات جديدة

تم في عام ١٩٢٦ اكتشاف المادة منشطة النمو التي تنشأ في القمة النامية للساق، وتسري إلى أسفل. وتشعبت منذ ذلك الحين دراسات هذه المواد التي سميت الهورمونات النباتية أو الأوكسينات، وظهر أن لها أثر فعال على نمو الساق والجذر والبراعم، وعلى تكوين الثمار وسقوط الأوراق والثمار، وأصبحت الأوكسينات أدوات فعالة في عالم الزراعة، تؤدي الكثير من الأغراض من تنشيط عقل التكاثر الخضري، إلى تطهير الحقول من الأعشاب، وغير ذلك مما تناولته الفصول السابقة.

وفي عام ١٩٥٦، أي بعد ثلاثين سنة من الاكتشاف الأول، عقد في مدينة ستورز الأمريكية مؤتمر علمي لدراسة موضوع "منظمات النمو من غير الأوكسينات" وكان ذلك إيذاناً بمرحلة جديدة في دراسات النمو. ولا شك أن هذه المجموعة الجديدة من المواد الفعالة سيكون لها أثر هام على حياتنا جميعاً، ليس فقط في فصول الدراسة، بل كذلك في المزارع وعلى موائد الطعام. وسيتناول هذا الفصل عرضاً مختصراً لمداولات هذا المؤتمر العلمي الهام الذي ناقش دراسات وبحوثاً جرت في الولايات المتحدة، وإنجلترا واليابان.

والمجموعة الأولى من هذه المواد سميت "مواد لبن جوز الهند". المعروف أن نمو البادرات الجديدة لأغلب أنواع النبات يعتمد على الغذاء المختزن في البذور، أما في جوز الهند، فإن هذا الغذاء يوجد في لبن الثمرة. وعندما تنبت

جوزة الهند فإن الورقة الجينية (الفلقة) التي تحتويها الصدفة الخشبية المعروفة، تتغذى على اللبن وتنمو سريعاً نتيجة لانقسام الخلايا حتى تملأ فراغ الجوزة. وظهر أن هذا اللبن ينشط نمو أجنة نبات الداتورة وهو من نباتات العائلة الباذنجانية. وتولت مجموعة من العلماء في جامعة كورنل الأمريكية دراسة لبن جوز الهند ومحاولة التعرف على المواد الفعالة التي يحويها.

وكان أول ما أظهرته هذه الدراسات أن إضافة لبن جوز الهند إلى مزارع أنسجة جذور الجزر تحدث تنشيطاً بالغاً لنمو الخلايا وسرعة انقسامها، حتى أصبح هذا الاختبار وسيلة لتحديد مدى فاعلية المواد المختلفة في لبن جوز الهند. وقد استلزمت عملية التعرف على هذه المواد بذل جهود شاقة ووقتاً طويلاً، ومن ٦٦٠ جالوناً من لبن جوز الهند أمكن استخراج حوالي ٢٦ رطلاً من شراب غليظ القوام غامق اللون. ومن هذا الشراب أمكن فصل عدد من المواد أغلبها من الأحماض الأمينية وغيرها من المواد الغذائية، كما أمكن فصل أربع مواد منشطة للنمو، وظهر أن إحدى هذه المواد هي ثاني فينيل البولينا، والمعروف عن البولينا أنها من المركبات الحيوانية، ولذلك فهذه المادة الجديدة تعتبر الأولى من مركبات البولينا التي يثبت وجودها في النبات، وأتضح أيضاً أن المواد المختلفة التي تقابل هذه المادة النباتية الجديدة لها القدرة على قتل الحشائش.

كما أظهرت الدراسات أن المواد الفعالة في لبن جوز الهند تتفاعل بشكل واضح مع غيرها من المواد. وعلى سبيل المثال نذكر أن نشاطها يزداد بشكل ملحوظ إذا أضيف إليها شيء من الأحماض الأمينية المستخلصة من بروتين كازين اللبن، ويقل نشاطها إذا أضيفت إليها مواد أخرى منها مستخلص درنات البطاطس. على أن أنسجة البطاطس يمكن أن تنمو إذا وضعت في

محلول بسيط يضاف إليه لبن جوز الهند مع قليل من قاتل الأعشاب ٢.٤– د. والفكرة المقترحة لتعليل ذلك هي أن النمو الطبيعي للنبات يمثل توازناً بين المنشطات (مثل المواد الفعالة في لبن جوز الهند) والمثبطات (مثل بعض المواد في درنات البطاطس). وكلما اقترب النبات من مرحلة النضج تجمعت المواد مثبطة النمو مما يبطئ انقسام الخلايا تدريجياً حتى تتوقف. وربما كان النمو الورمي غير المنتظم في النباتات (وربما في الحيوان) نتيجة لاختلال هذا التوازن بين المنشطات والمثبطات.

وبالاعتماد على اختبار مزرعة أنسجة جذور الجزر، أمكن التعرف على عدد من المواد منشطة النمو مستخرجة من نباتات أخرى غير جوز الهند، منها ثمار الموز الفجة وثمار شجرة المعبد والجوز والقسطنة الهندي وحبوب الذرة غير الناضجة، وكذلك من بعض الأورام النباتية.

أما المجموعة الثانية من هذه المواد، فهي مجموعة مواد اللكتونات غير المشبعة، وهي مواد نباتية سبق التعرف عليها وعلى تركيبها الكيميائي دون التنبه إلى أهميتها كمواد منظمة للنمو، وهي في الغالب مثبطة للنمو، ولتأثيرها على الجذور أهمية خاصة؛ إذ ظهر أن بعض اللكتونات ومشتقاتها تزداد في بعض الجذور كلما قلت سرعة نموها. وقد أصبح موضوع العلاقة بين اللاكتونات غير المشبعة وتثبيط نمو الخلايا من الأمور التي تثير الاهتمام العلمي. وتبين أن هذه اللاكتونات تؤثر على نشاط بعض الأنزيمات، ولما كان نشاط الأنزيمات مما يدخل في أوجه متعددة للنمو فبالتالي يكون لمواد اللاكتونات أثر على مراحل وأوجه متعددة للنمو. وتدل الظواهر على صحة هذا الاستنتاج، وبرجوعنا إلى الفكرة القائلة بأن النمو هو توازن بين المثبطات والمنشطات نتساءل: هل المثبطات هي مواد اللاكتونات غير المشبعة ؟

ويبدو أن لهذه اللاكتونات أهمية في علم البيئة النباتية. فبعض هذه المواد، مثل الكومارين الذي يوجد في بقلة الدبتركس وغيرها من النباتات، معروفة بقدرتها على تثبيط إنبات البذور. ولكل عامل يمنع إنبات البذور أثر فعال في بناء العشيرة النباتية. وقد ظهر أن بعض النباتات الصحراوية يمارس أنواعاً من الحروب الكيميائية ضد غيرها كما سيتضح في الفصل الذي يتناول حياة النبات في الصحراء، والفصل الذي يتناول كيمياء العلاقات الاجتماعية في عالم النبات. ويمكن أن نذكر هنا أن بعض النباتات الصحراوية ينتج مواد كيميائية لها أثر سام على النباتات الأخرى. وثبت أن ثلاثاً من هذه المواد لاكتونات غير مشبعة. ولذلك فدراسة هذه المواد قد تفتح آفاقاً جديدة في دراسة علم البيئة النباتية.

أما المجموعة الثالثة، فالمادة الأساسية فيها هي مركب كيميائي أسمه كينيتين، وهو من مشتقات الأدينين الذي يمثل إحدى اللبنات في بناء الأحماض النووية، تلك المواد الحيوية الهامة في جميع الخلايا وظهر أن مادة الكينيتين تنشط خلايا أنسجة نبات الطباق فتنقسم وهي محفوظة في مزارع الأنسجة، وهذا الانقسام لا يتم بدون وجود هذه المادة. وقد أمكن استخلاص مادة الكينيتين من مني سمك الرنجة وغيرها من الكائنات، كما وجدت مادة ذات أثر مشابه في مستخلص الخميرة وغيرها من المنتجات النباتية. وأمكن تخليق مشتقات أخرى للأدينين لها أثر على تنشيط انقسام الخلايا. وأظهرت التجارب أن مادة الكينيتين ومشتقاته، تؤثر على ساق نبات الطباق النامي في محلول غذائي، فيظهر عليه عدد زائد من البراعم، كأن هناك تبادلاً بين الأكسين والكينيتين؛ فإضافة الأوكسين تزيد الجذور، وإضافة الكينيتين تزيد البراعم. ومن صفات الكينيتين ومشتقاته أنها تزيد حجم الساق القرصية في نبات الخس، وتنشط

إنبات بذوره. وأخيراً نذكر أن للكينيتين والأوكسين أثراً يشبه أثر بعض أنواع البكتريا، في إحداث التورمات النباتية. ولاشك أن الدراسات المستفيضة على الكينيتين ستنير الطريق لحل كثير من المسائل المتعلقة بنمو النبات سواء أكان طبيعياً أم غير طبيعي، وربما أمكن تعليل اتخاذ النباتات المختلفة أشكالها المميزة.

أما المجموعة الرابعة فقد أثارت اهتماماً خاصاً في هذا المؤتمر العلمي، وهي المواد الجبريلينية. وأول ما يلاحظ أن هذه المواد كانت معروفة لدى علماء النبات اليابانيين منذ ١٩٢٦ أي قبل اكتشاف الأوكسينات، ولكن ضعف التبادل العلمي بين الدول، عطل التعرف على هذا الاكتشاف، وعطل تبعاً لذلك التوسع في دراسات هذه المواد في المراكز العلمية الأخرى. لقد عرف اليابانيون فطرة تسمى الجبريلا تسبب مرضاً لنبات الأرز يسمونه مرض "البادرة المجنونة"، ذلك لأن هذا المرض يسبب استطالة بادرات الأرز على نحو شاذ. وقد ظهر أن مستخلص هذه الفطرة يسبب أعراضاً تشبه هذا المرض. وبعد ١٢ سنة من الجهود المتواصلة استطاع بعض رجال جامعة طوكيو أن يستخلصوا مادة فعالة سموها الجبريلين. ولم تبدأ دراسة هذه المادة الهامة في الولايات المتحدة وفي بريطانيا إلا في سنة ١٩٥٠، وزاد الاهتمام بها بشكل ملحوظ منذ ١٩٥٥.

وقد تم عزل ثلاثة مركبات جبريلينية من مستخلص الفطرة، وهي جميعاً أحماض ذات تركيب كيميائي معقد. ومن الطريف أن جزءاً من هذا التركيب هو اللاكتون، حتى ليمكن اعتبار المواد الجبريلينية من مركبات مجموعة اللاكتون. وتناول علماء فسيولوجيا النبات دراسة صفات هذه المواد وأثرها على النمو باهتمام زائد. فتمت دراسة آثارها على مجموعة كبيرة من النباتات، ووجد أن لها تأثيرات متعددة، أهمها وأعمها استطالة ساق النبات، وقد بلغ طول أشجار

المواح ستة أضعاف الطول العادي. وتناولت إحدى الدراسات ٤٢ نوعاً تضمنت النجيليات والأشجار والبنجر والبقوليات وغيرها، فاستجابت سوقها بالاستطالة فيما عدا ثلاثة أنواع شذت وهي الصنوبر الأبيض والبصل والدلبوث.

وللمواد الجبريلينية أثر طريف على النباتات. القزامى، فهي تحول البسلة القصيرة إلى بسلة طويلة. وأمكن بها تحويل خمس من تسع سلالات قزمة من طفرات الذرة، إلى نباتات ذات طول عادي، وهو أمر لم تستطعه ١١ مادة أخرى من المواد منشطة النمو، ومن بينها الأوكسين، فهل يدل هذا على أن نباتات البسلة والذرة العادية تنتج مادة الجبريلين أو مواد شبيهة بها؟ هناك أسباب تدعو إلى تصديق ذلك، فقد أمكن التأثير عن الخمس طفرات القزامى للذرة لتصبح ذات أطوال عادية، بمعاملتها بمستخلص بذر غير ناضجة لنباتات مختلفة.

وظهر أيضاً أن للمواد الجبريلينية أثراً على تنشيط الأزهار في بعض النباتات، فبعض النباتات يزهر استجابة لبرد الشتاء، وبعضها يزهر استجابة لاستطالة النهار في الربيع، بينما يزهر البعض الآخر استجابة لعاملي الحرارة وطول النهار. وقد أمكن حتى الآن– إزهار ١٢ نوعاً من أنواع النبات في غير موسمها وذلك بمعاملتها بالمواد الجبريلينية. والغريب أن النباتات التي تزهر استجابة لأيام الخريف قصيرة النهار لا تستجيب للمعاملة بالمواد الجبريلينية.

والواضح أن مستقبلاً حافلاً تفتح آفاقه هذه المواد الجديدة. فقد شغلت الأوكسينات العلماء والباحثين نيفا وثلاثين عاماً. أما الآن فأمام علماء فسيولوجيا النبات أربع مجموعات جديدة من مواد منظمة للنمو تحتاج إلى المزيد من الدراسة والتقصي. وربما جاز اختصارها إلى مجموعتين رئيسيتين؛ لأن مواد

لبن جوز الهند قريبة الشبه في تأثيرها بمواد الكينيتين، والمواد الجبريلينية قريبة الشبه في تركيبها الكيميائي باللاكتونات غير المشبعة.

ومما تجدر الإشارة إليه أن المواد المختلفة التي تحتويها كل من هذه المجموعات يختلف تأثيرها تبعاً للظروف. وهذه الاختلافات في أثر المادة الواحدة تفتح أمام علماء الفسيولوجيا المجال لدراسات مستفيضة. فقد نجحوا حتى الآن في إظهار التشابه بين العمليات الرئيسية في الكائنات جميعاً كالتنفس مثلاً. وقد آن الأوان لنسأل: كيف تختلف وتتميز الكائنات النباتية والحيوانية في نشاطها الفسيولوجي؟ لعل الإجابة الشافية على هذا السؤال ستنبع من نتائج دراسة المواد منظمة النمو. فالمواد التي تستخلص من جوز الهند تختلف عن المواد التي تستخلص القسطنة الهندي. ومن الأسئلة المثيرة والجديدة: في أي النباتات الراقية توجد المركبات الجبريلينية؟ وما كميتها وما عملها؟ وخلاصة القول أنه أصبح الواجب مراجعة كافة الكتب التي تناولت موضوع نمو النبات على ضوء هذه الأبحاث الجديدة، فيبقى بعض النتائج ويختفي بعضها، وستظهر موضوعات جديدة رائعة. ولعل هذا الفهم الجديد لظواهر النمو الطبيعي يساعدنا على فهم النمو غير الطبيعي مثل السرطان.

الجزء الثاني

علم المناخ الزراعي

تأليف

فريتس و. فنت

علم المناخ الزراعي

كثيراً ما تغرب عن أذهاننا في مجتمعنا الصناعي حقيقة هامة؛ وهي أن حياة الإنسان الحديث ما تزال تعتمد أساساً على الزراعة، حتى ليصعب علينا أن ندرك المخاطر التي تهدد حياتنا وخاصة من ناحية إنتاج الغذاء الكافي لأعداد السكان المتزايدة. وقد تمكن الإنسان الحديث بالعمل الدائب والابتكارات الهائلة أن ينتج من الطعام ما يقابل الاحتياجات المتزايدة. وقد كان ابتكار نظام الزراعة الدائمة أهم ما توصل إليه الإنسان؛ فقد اقتضى ذلك من قدامى الفلاحين أن يستنبطوا نباتات المحاصيل كالقمح والأرز وغيرها، وأن يكتشفوا طرق الفلاحة كالحرث والبذر والري والعزق ومقاومة الأمراض والآفات. وفي الزمن الحديث أصبحت الزراعة من الأعمال التكنولوجية الرائعة، وأصبح في قدرة العامل الواحد الزراعي بفضل الآلات ووسائل الإنتاج الحديثة– أن ينتج من الغذاء ما يكفي ١٧ شخصاً، كما توصلت الأبحاث إلى إيجاد الوسائل الفعالة لمقاومة الأمراض والآفات، ويسرت الطرق الحديثة لفلاحة الأرض إنتاج محاصيل كبيرة من الحقل الواحد سنة بعد سنة كما منعت طرق النقل الحديث أخطار قلة الغذاء في منطقة ما، وذلك بتيسير النقل السريع عبر القارات. وتتيح لنا طرق الحفظ الحديثة أغذية طازجة طول العام.

أما العامل الرئيسي الذي لم يخضع بعد لمشيئة الإنسان فهو المناخ، فما تزال تتهدد الزراعة في بقاع الأرض موجات الجفاف أو الفيضانات أو الصقيع أو الزوابع أو عواصف البرد. بل لعل بعض الانحرافات اليسيرة في العوامل المناخية قد تسبب الدمار للمحاصيل. ومثال ذلك يبدو واضحاً عند مراجعة أرقام إنتاج الطماطم في الولايات المتحدة، فإن إنتاج الفدان في بعض الولايات

يتغير تغييراً شديداً من عام إلى آخر. وهذا التغير قليل في ولاية كاليفورنيا كبير في بعض الولايات الأخرى التي تتعرض لتقلبات جوية كبيرة. ولا شك أن السبب الرئيسي في تغير الإنتاج من عام إلى عام هو تعرض الجو للتقلبات السنوية. ومثل ذلك يلاحظ في المحاصيل الأخرى، كالفول والبسلة وأنواع الفاكهة المختلفة. فما تلك العوامل المناخية التي تؤثر على المحصول وتدمره وهي بعد خفية يصعب التنبؤ بها، ولا يتيسر إلا التعرف على آثارها؟ من الواضح أنها تتعلق بكمية أشعة الشمس، والحرارة والرطوبة الجوية.

وقد استمرت الدراسات التي أجراها مؤلف هذا الفصل على تأثير العوامل المناخية على الإنتاج النباتي حوالي عسر سنوات، بدأت بدراسات على نمو الطماطم تحت ظروف تجريبية. ثم تم إعداد صوبتين زجاجيتين بهما أجهزة لتكييف الهواء، أجريت فيهما تجربة لدراسة العلاقة بين النبات والرطوبة الجوية يستلزم درجات عالية للحرارة. فقد اختير نبات الطماطم لأنه محصول يجود في الأجواء الدافئة. وبدأت التجربة بأن سوى بين درجة الحرارة في الصوبتين الزجاجيتين (درجة الحرارة الموحدة ٧٩° ف. أي ٢٦° م) أما درجة الرطوبة فقد حفظت في إحدى الصوبتين عند ٧٠% وفي الأخرى عند ٤٠% وأظهرت نتائج هذه التجربة أن لا فرق يذكر في نمو نبات الطماطم في درجتي الرطوبة، وكان نمو النباتات في الصوبتين سقيماً، واخضرار الأوراق باهتاً، وكان نموها مغزلياً قليلاً، وأسوأ من هذا كله لم تثمر النباتات ولم يتجاوز محصول مئات النباتات التي تناولها التجربة، أربع ثمرات.

وقد حار في تعليل هذه النتيجة خبراء زراعة الطماطم، ولم تثمر نصائحهم بتغيير المحاليل الغذائية. وكررت التجربة مع تعديل درجة الحرارة في إحدى الصوبتين إلى ٦٤° ف (١٨° م). وسرعان ما استجابت النباتات وبدأت تظهر

الثمار وتنضج. وكان ذلك مثار الدهشة حقاً؛ فالمعروف أن محصول الطماطم يجود في مناطق يزيد متوسط درجة الحرارة فيها على ٧٩° ف التي استعملت في التجربة. وقد تبين بعد عدد من التجارب أن النبات يحتاج إلى دورة حرارية خلال اليوم. ويجود النمو إذا كانت درجة الحرارة أثناء الليل (أي أثناء فترة نمو النبات في الظلام) حوالي ٦٤° ف. وأصبح جلياً أن الأمر يحتاج إلى المزيد من التجارب التفصيلية لدراسة العوامل المناخية المختلفة. وحصل مؤلف هذا الفصل على منحة مالية قدرها ٤٠٧٠٠٠ دولار تبعتها منحة تكميلية قدرها ٧٤٠٠٠ دولار لبناء مجموعة من الصوبات الزجاجية التي يمكن أن تتمثل فيها الظروف المناخية المختلفة، وتم بناؤها وتجميعها في بناء واحد سمي "مختبر النبات" **phytotron** وإليك وصفه:

يبدو المختبر من الخارج كبناء جميل له نوافذ واسعة. يجد الداخل إليه حجرات لتغيير الملابس، فلا يسمح بالدخول قبل تغيير الملابس بغيرها مما أحسن تنظيفه وتعقيمه احتياطاً ضد نقل الحشرات والأمراض إلى داخل المختبر. وفي الداخل يجد الزائر هواء نقياً لا أثر فيه للحشرات أو التراب أو الغبار، حتى إذا دلف الزائر إلى أحد الصوبات الزجاجية شعر بالانتقال إلى دنيا جديدة مليئة بالنباتات والأضواء المتألقة، ويرجع هذا التألق إلى رذاذ الماء على السقف الزجاجي، وفائدة هذا الرذاذ هي امتصاص الأشعة تحت الحمراء من ضوء الشمس. والهواء في الصوب طلق ولطيف ليس فيه الرطوبة المعتادة في الصوبات العادية، ويمر الهواء المكيف باستمرار عبر الصوب، فيدخل من فتحات في الأرضية ويخرج من فتحات التهوية في الجدران، ويتم التغيير الشامل للهواء مرتين في الدقيقة، وبذلك يذهب الهواء بأغلب حرارة الشمس، ففي الظهيرة تمتص الصوبة كميات عظيمة من حرارة الشمس، حتى لترتفع درجة

حرارة الهواء سبع درجات في أثناء نصف الدقيقة التي يمضيها الهواء في الصوبة. ونظام التهوية لا يسمح بركود الهواء في أي جزء، ويتيح تعريض كافة النباتات لظروف متشابهة من الحرارة ودرجة الرطوبة وأكثر الصوب دفئاً تحفظ حرارته عند ٦٨° ف (٢٠° م) في أثناء النهار طوال السنة. ولكن الزائر لا يشعر بحرارة زائدة، لأن شعورنا بالدفء أو البرودة لا يعتمد أساساً على درجة الحرارة الفعلية بل على درجة الإشعاع، كما أن لدرجة الرطوبة الجوية أثر كبير في إحساسنا بدرجات الحرارة، ففي الهواء الجاف يشعر الإنسان بأن الحرارة أقل مما يشعر به في الجو الرطب، مع تساوي درجة الحرارة الفعلية في الحالين. أضف إلى ذلك أن الهواء المتحرك يشعرنا بلطف الحرارة، إذا قورن بالهواء الساكن.

ويوجد في المختبر ٥٤ صوبة وهي عبارة عن حجرات مستقلة لتربية النبات. ومنها حجرات مظلمة، وحجرات تضاء صناعياً.

وتوضع النباتات على نضد تتحرك على عجلات، مما ييسر نقلها إلى أية واحدة من ٥٤ بيئة مختلفة. ويمكن إعداد هذه الصوب بحيث يتمثل فيها النهار الدافئ أو مع الليل البارد، وتتمثل فيها أطوال مختلفة للنهار، كما يمكن تعريض النبات للمطر الصناعي والريح والغازات الخاصة. والعوامل المختلفة التي يمكننا التحكم فيها هي درجات الحرارة في أثناء الليل والنهار، وشدة الإضاءة وطول مدتها ونوع الضوء والرطوبة الجوية، والريح والمطر وغازات الهواء. أما العوامل الأخرى فقد استبعد تغيراتها بالمحافظة عليها متشابهة. ولذلك فظروف التغذية والتربة واحدة؛ إذ تزرع النباتات جميعاً في الورمقيليت أو الحصى أو خليط منها، وتروى بمحلول غذائي معين يمر في أنابيب توصله إلى كافة الصوب وحجرات التجارب. ويمكن طبعاً تغيير تركيب المحلول الغذائي إذا استلزمت الدراسات الخاصة ذلك.

وتتناول التجارب في هذا المختبر أنواعاً عديدة من النباتات تزرع في الصوبة الواحدة، ذلك لأن القصد هو اختبار استجابة النباتات المختلفة لظروف النمو المختلفة. وقد يجد الزائر في الصوبة الواحدة نباتات الطماطم والبطاطس والبنفسج الأفريقي وأنواعاً مختلفة من الأراشيد تختبر جميعاً لمعرفة استجابتها لدرجة معينة من الحرارة، وفي صوبة أخرى قد توجد نباتات صحراوية مع نباتات البن والشعير والإسفناخ والقرنفل وعشرات غيرها من أنواع النبات، ولكل تجربة هدف خاص.

أما الحجرات التي تضاء صناعياً، فيوجد منها ١٣ مجموعة يعمل على كل منها جهاز خاص لتكييف الهواء. وكل مجموعة تتكون من عدد من الحجرات تفصلها أبواب مزدلقة مما ييسر تربية النباتات في درجة حرارة واحدة، ولكنها معرضة لمعاملات ضوئية مختلفة. وتوضع النباتات على مناضد يمكن تغيير ارتفاعها حتى يمكن خفض المنضدة كلما استطال النبات للمحافظة على المسافة بين مصدر الضوء والنبات. وتتحكم في الضوء ساعات آلية تحدد مدد الإضاءة، كما يمكن نقل النباتات من حجرة إلى أخرى على هذه المناضد ذات العجلات. وتتراوح درجات الحرارة في هذه الحجرات ذات الإضاءة بين ٣٨ و٨٦° ف. (٣ و٣٠° م). وتتمثل في هذا المدى درجات الحرارة المناسبة لنمو نبات الجبال الباردة ونباتات المناطق الحارة. أما في الصوب الزجاجية، فتتراوح درجات الحرارة أثناء النهار بين ٦٣ و٨٦° ف. (١٧ و٣٠° م). وأثناء الليل بين ٥٣ و٧٣° ف. (١٢ و٢٣° م) وتخفض درجات الحرارة عادة في أثناء الليل لأن أغلب النباتات تحتاج إلى هذا التغيير لتنمو أحسن نمو.

والجزء الميكانيكي من المختبر بالغ حد التعقيد؛ فهناك العديد من أجهزة تكييف الهواء وأنابيب التهوية وأنابيب المحاليل الغذائية، وأنابيب الماء الساخنة

والماء العادي والماء البارد، وأنابيب الهواء المضغوط، كما توجد معامل وغرف للتصوير وغير ذلك ومن المشاكل الهامة تنقية الهواء الداخل إلى أجهزة التكييف قبل مروره إلى حجرات التجارب والصوب، وتخليصه من الأتربة والغبار والحشرات والجراثيم وهي مهمة غير سهلة، وخاصة قرب مدينة صناعية يتلوث هواؤها ببخار الجازولين ونتاج عمليات الإحتراق والأكسدة. وفي المختبر جهاز لتنقية الهواء من كل ذلك، له القدرة على تنقية كمية من الهواء وزنها طن في الدقيقة الواحدة، وبهذا الجهاز يتم إعداد هذا المختبر الكبير وتهيئة الظروف المناسبة للقيام بالتجارب.

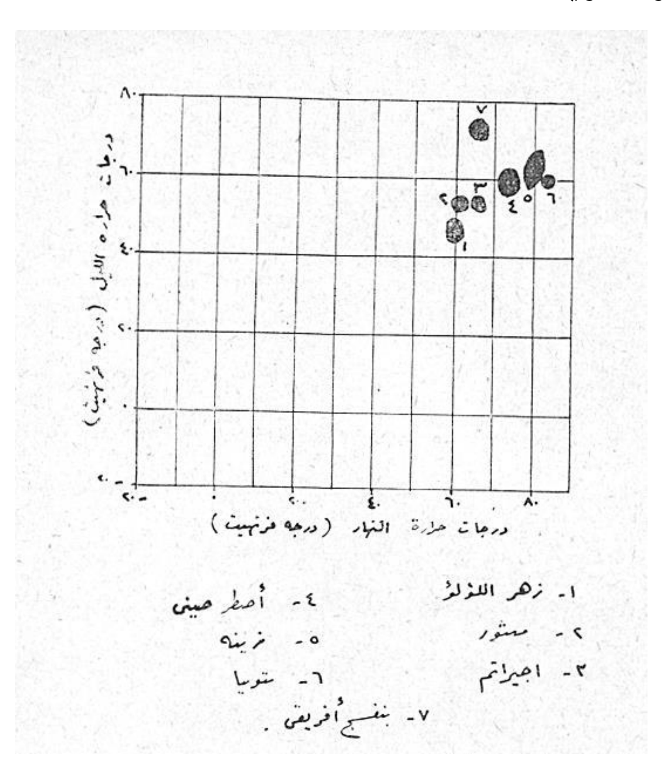
لنتناول الآن بعض النتائج التي أسفرت عنها التجارب التي استغرقت أكثر من سبع سنوات في هذا المختبر الكبير بقصد دراسات تأثر النباتات بالظروف الجوية. وأول ما تذكر، تأثر نبات الطماطم بتغير درجات حرارة النهار والليل على نحو ما ذكرنا في أول هذا الفصل. وقد دلت التجارب العديدة على أن نجاح الإثمار في معظم أصناف الطماطم يحتاج إلى درجة حرارة ليلية منخفضة. ويعلل هذا قلة محصول الطماطم في المناطق الحارة حيث لا تنخفض درجات الحرارة الليلية إلى الحد المناسب للإثمار. ومحصول الطماطم لا يتعرض في كاليفورنيا للتغيرات السنوية، لأن درجات الحرارة في ليالي الصيف تنتظم بما يتناسب مع احتياجات النبات. أما في المناطق الأخرى من الولايات المتحدة، مثل الشرق والجنوب الغربي، فإن المحصول يتأثر بالتغيرات الشديدة التي تطرأ على درجات الحرارة الليلية خلال الصيف؛ ففي بعض السنين لا تكاد تتجاوز فترة الحرارة الليلية المناسبة الأسابيع القليلة، وتكون نتيجة ذلك قلة المحصول. وتجرى الآن تجارب في المختبر على بعض الأصناف الجديدة التي يبدو أنها أكثر احتمالاً لتغيرات درجات الحرارة الليلية، والنتائج المبدئية تبشر بالخير.

ويشبه نبات البطاطس، نبات الطماطم، في استجابته لدرجات الحرارة الليلية؛ فتنتج درنات البطاطس عندما تنخفض الحرارة الليلية. وأصلح درجات الحرارة لذلك تتراوح ما بين ٥٠ و٥٧° ف. (١٠-١٤° م) وهي درجات تقل عشر درجات فرنهيتية عن أصلح الدرجات لإثمار الطماطم. وفي ذلك تعليل لنجاح زراعة البطاطس في المناطق الشمالية. أما في المناطق الدافئة في كاليفورنيا، فيصلح البطاطس في الخريف والربيع ولا يصلح في الصيف. وفي المناطق الحارة لا تجود زراعة البطاطس إلا على سفوح الجبال حيث تنخفض درجات الحرارة الليلية إلى المدى المناسب. ويبدو أن الجزء الخضري للنبات يتأثر، دون الأجزاء الأرضية باختلاف الحرارة. وأظهرت التجارب أن تغير حرارة الأرض ارتفاعاً أو انخفاضاً لا يؤثر كثيراً على تكوين الدرنات.

أما استجابة أصناف البنجر لدرجات الحرارة فهي أكثر تعقيداً. فأصناف الجو الدافيء يجود نموها عندما تنخفض درجات الحرارة الليلية إلى درجة ٦٨° ف. (٢٠° م) فتنمو عنها جذور درنية عظيمة، ولكن محتوى السكر فيها قليل. ويبلغ إنتاج السكر أقصاه إذا تعرضت النباتات لدرجات حرارة ليلية أقل من ذلك بكثير مع خفض الغذاء النتروجيني نسبياً. ويدل على ذلك أن أفضل الظروف لإنتاج البنجر هي أن يبدأ النمو في الصيف الدافيء تصاحبه تغذية نتروجينية تتيح للنبات نمواً خضرياً مناسباً، ويتبع ذلك خريف مشمس تنخفض فيه درجات الحرارة الليلية إلى ما يقرب من التجمد.

أما نباتات البسلة وبسلة الزهور فأغلب نموها في أثناء النهار، ولذا فحرارة الليل قليلة الأثر عليها. ويجود نموها عندما تبقى درجات حرارة النهار دون ٧٠° ف. (٢١° م). أما إذا ارتفعت إلى ٨٠ أو ٨٥° ف (٢٧، ٢٩° م). فالنباتات تذوي ثم تموت. ولذا فهذه النباتات تزرع في المناطق الدافئة

كمحصول شتوي.



(شكل ٤)

رسم بياني لدرجات الحرارة الليلية والنهارية المناسبة للنمو السليم لسبعة نباتات مختلفة. إذا استكمل هذا الرسم بخط يبين درجات الحرارة في شهور السنة في منطقة معينة، أمكن الحكم على صلاحيتها لنمو النبات إذا تقابل الخط البياني بالجزء المظلل من الرسم.

وقد أجريت التجارب على نباتات عديدة أخرى، وتم تحديد درجات الحرارة النهارية والليلية التي تناسب نموها. ويبين الرسم المرافق حدود درجات الحرارة المناسبة لنمو سبعة من النباتات التي تمت دراستها. ويلاحظ أن اختلاف درجات الحرارة عن الحد الملائم

زيادة أو نقصاناً، يستتبع اضمحلالاً في النمو يبلغ في غايته الموت. ونذكر على سبيل المثال أن نبات البنفسج الأفريقي يهزل حتى الموت إذا تعرض لمدة عدة أسابيع لدرجات الحرارة التي تعتبر ملائمة لنبات زهر اللؤلؤ، والعكس صحيح إذ يموت النبات الأخير إذا تعرض لدرجات الحرارة الملائمة لنمو نبات البنفسج الأفريقي. فإذا استكمل الرسم البياني الوارد في الشكل المرافق ليشمل المحاصيل الهامة جميعاً. وبمقابلته على رسم بياني لدرجات الحرارة السائدة في مكان ما، يصبح في الإمكان التعرف على أفضل المحاصيل المناسبة لهذا المكان وتحديد الموسم المناسب لنموها.

وتحتاج أغلب النباتات المعمرة التي تنمو في المناطق الباردة إلى دورة حرارية. فنبات السنبل **Tulip** لا يزهر في مناخ لا يتغير خلال السنة، لأن لكل مرحلة من مراحل النمو درجة حرارة مثلى؛ ففي المرحلة الأولى يلزم فترة تقل فيها درجة الحرارة عن ٥٠° ف. (١٠° م). وفي هذه الفترة يتهيأ نمو الساق الزهرية، ومرحلة نمو هذه الساق تناسبها درجة ٦٣° ف. (١٠٧° م)، وأخيراً إذا أريد للنبات أن ينتج أوراقاً وأزهاراً جديدة في الموسم التالي فإنه يحتاج إلى حرارة ٨٠° ف. (٢٧° م). أما نبات العيسلان **Hyacinth** فتناسبه درجات حرارة تزيد عشر درجات على ما يناسب السنبل. ونبات البصل يبدأ إزهاره عند درجات الحرارة المنخفضة، ولكن مراحل النمو الأخرى تحتاج إلى جو أدفأ.

أما النباتات ثنائية موسم النمو (أي التي تحتاج إلى عامين لتمام النمو) مثل البنجر والجزر وأصبع العذراء **Foxlgove**، فتمضي السنة الأولى في تكوين أوراق متراكمة كباقة الورد وجذر وتدي متضخم يختزن المواد الغذائية، وتكاد تظل ساكنة خلال الشتاء في العالم الثاني حتى إذا جاء الربيع نبت من وسط باقة الأوراق ساق طويلة تحمل الزهر والثمر. وفترة الشتاء البارد ضرورية، ولو زرع

البنجر في جو مستمر الدفء، فإنه ينمو لمدة سنوات عديدة ويتضخم حجمه دون أن يزهر قط.

وأغلب الأشجار التي تتساقط أوراقها في الشتاء، تحتاج إلى تتابع فصل الصيف الدافيء وفصل الشتاء البارد. فأشجار الخوخ والكمثرى لا تتفتح براعم أوراقها أو أزهارها في الربيع ما لم يسبق ذلك برد الشتاء. ولم تتيسر بعد دراسة البرودة اللازمة، ولكن يبدو أن الأمر يحتاج إلى درجة حرارة دون الأربعين درجة فرنهيت (٤٠° م). لعدة شهور. وتختلف الحاجة باختلاف نوع النبات وصنفه؛ فأصناف الخوخ التي تزرع في المناطق الباردة تحتاج إلى فصل بارد أطول مما تحتاج أصناف الخوخ التي تزرع في المناطق الدافئة.

وتتأثر الأشجار التي تتساقط أوراقها بعاملين من عوامل المناخ:

الأول هو تغير درجات الحرارة، والثاني هو تغير طول النهار. فأشجار الخوخ والكمثرى تستشعر مقدم الخريف كلما قصر طول النهار. وحينئذ تبدأ براعمها في الكمون. ولو حفظت شجرة الخوخ في ظروف من الإضاءة الصناعية تماثل النهار الطويل، لاستمر نموها الخضري دون أن تكمن براعمها. أما في الظروف الطبيعية، فإن تتابع فصل النهار الطويل وفصل النهار القصير، وتتابع الفصل البارد والفصل الدافيء، تنظم حياة شجرة الخوخ. على أن استجابة الشجرة لهذه الفصول المتتابعة لا تتسم بالبساطة، فالنظام الطبيعي للشجرة يحتاج إلى فصلين باردين بينهما فصل دافيء: الفصل البارد الأول يلزم لتكوين البراعم الزهرية في الفصل التالي، أما الفصل البارد الثاني فيلزم لتهيئة هذه البراعم للإزهار.

أما النباتات الدائمة الخضرة التي تنمو في المناخ الدافيء كشجيرات الكاميليا، فإنها تتأثر أيضاً بالتغيرات الموسمية في درجات الحرارة وطول النهار.

وفي هذه النباتات تتكون البراعم الزهرية في فصل الصيف الحار وتتفتح الأزهار في الشتاء التالي. أما النمو الخضري فيحتاج إلى النهار الطويل. وكثير من نباتات المنطقة الإستوائية كالنخيل والتيل يكون أوراقاً وأزهاراً طول العام. ولا يمكن زراعتها في المناطق الباردة لعدم قدرتها على احتمال الصقيع. ولكن بعض الأشجار الاستوائية كالرنف الأحمر **Poinciana** يستجيب لموسمية المناخ الذي يتضمن موسماً مطيراً يعقبه موسم جاف.

ومن الواضح أن المناخ يؤثر على النباتات بتأثيره على التفاعلات الكيميائية فيه. ومعارفنا عن هذا الأمر قليلة، ولكنا نشاهد قطعاً تأثير العوامل المناخية على طعم الثمار وصفاتها الأخرى. وعلى سبيل المثال نذكر بعض المشاهدات على طعم ثمار الشليك ونكهته. فإذا زرع الشليك في جو دافيء أو معتدل كانت الثمار حمراء حلوة ذات مذاق حمضي خفيف دون أن يكون لها نكهة الشليك الخاصة. ولكي يكون للثمار هذه النهكة الخاصة، يلزم نضجها في درجة حرارة حوالي ٥٠° ف. (١٠° م). ودلت التجارب على أن نبات الشليك يحتاج إلى فترة لا تقل عن أسبوع من درجات الحرارة والمعاملة الضوئية المناسبة ليكون للثمار نكهة الشليك الكاملة. وفي ذلك تعليل لما نشاهده من أن أفضل ثمار الشليك هو الذي ينضج في مستهل فصل الإثمار، ذلك لأن الثمار تنضج في أوائل الربيع عندما تكون درجات الحرارة في الصباح حوالي ٥٠° ف. أما فيما يلي من أيام الربيع والصيف فثمار الشليك تفقد نكهتها لأن درجات الحرارة لا تناسب النضج السليم. أما في المناطق الجبلية العالية، في المناطق الشمالية مثل ألاسكا وشمال السويد حيث لا ترتفع درجات الحرارة خلال أيام الصيف. فإن ثمار الشليك تحافظ على جمال طعمها طوال الموسم. وبهذه المعلومات عن العوامل التي تؤثر على نضج ثمار الشليك، يمكننا أن نزرع

الشليك في الظروف التي تلائم المحصول الممتاز ذا النهكة التي تميز ثماره عن مجرد خليط من السكر والحامض.

وربما أظهرت الدراسة أن ثماراً أخرى تتأثر بدرجات الحرارة على نحو ما يتأثر الشليك. وربما يرجع الطعم الممتاز لتفاح الشمال إلى تعرضه إلى درجات حرارة منخفضة لاسيما في صباح الأيام الأخيرة من نضج الثمار. ومعظم المشتغلين بتربية أشجار الفاكهة وأصنافها يهتمون بصفات الثمرة من حيث الحجم والشكل الخارجي، بينما يجب أيضاً الاهتمام بمذاق الثمرة ونكهتها وهو ما يحببها إلينا، ولعل الدراسات المقبلة تنير لنا سبل إنتاج ثمار ذات طعم ممتاز.

ولما كانت الزراعة هي أساس وجودنا، ولما كان المناخ يمثل العوامل التي تتحكم في الإنتاج الزراعي، فإن من الواجب أن يزداد اهتمامنا بدراسة المناخ وهي دراسات من الأهمية والضخامة بحيث يلزم أن يعكف عليها العديد من أنبغ العلماء في كافة بقاع الأرض. ومما يؤسف له أن هذا الموضوع لا ينال الاهتمام الكافي؛ ففي كافة محطات الأبحاث الزراعية والكليات الزراعية، توجد مجاميع من العلماء تتناول دراساتهم الأمراض والآفات وتربية النبات واستنباط الأصناف الجديدة إلى غير ذلك، أما دراسة المناخ الزراعي فلا توجد إلا في عدد قليل جداً من هذه المراكز العلمية. والواجب أن يكون في كل منها فريق من الباحثين يتضمن أخصائيين في الأرصاد الجوية وعلم المناخ والزراعة وفسيولوجيا النبات. و"المختبر النباتي" هو الجهاز العلمي الذي يناسب هذه الدراسات، والمنتظر أن يتم إنشاء عدد من هذه المختبرات في المؤسسات العلمية المختلفة بعد أن ظهرت فائدتها في الأبحاث الأساسية والأبحاث التطبيقية التي تعاون على حل مشاكل زراعية تتعلق بالمحاصيل الحقلية وأشجار الفاكهة وزراعة الغابات وغيرها.

وليس المقصود من هذه الدراسات التي تهدف إلى التعرف على المناخ الملائم للمحصول، أن تتناول المحاصيل الرئيسية مثل القمح والأرز والقطن؛ فقد بينت التجربة الإنسانية وحددت الظروف الاقتصادية أفضل المناطق لزراعة هذه المحاصيل، بل قد تم استنباط أصناف جديدة تناسب الظروف المحلية. ولكن المحاصيل الخاصة تحتاج إلى مزيد من الدراسة، ومثل هذه المحاصيل توجد تحت التجربة في مناطق عديدة وصادفها القليل من النجاح في الكثير من المناطق والدراسات المناخية يمكن أن توضح الأماكن التي تجود فيها الأنواع المختلفة والأصناف المختلفة للنوع الواحد من هذه المحاصيل.

وتفيد دراسات المناخ الزراعي الفلاحين بإنذارهم عن تقلبات الجو. مثال ذلك نظام الإنذار الجوي عن الصقيع الذي ينبيء أصحاب مزارع الموالح في جنوب كاليفورنيا. فخلال فصل الشتاء، تذاع على الفلاحين تقارير يومية عن أدنى درجات الحرارة المنتظرة في كل منطقة. وتتضمن هذه التقارير تحديد الساعة التي ستهبط فيها درجة الحرارة إلى الحد الذي يلزم عنده تشغيل أجهزة التدفئة في البساتين. ويطمئن الفلاحون إلى هذه التقارير كل الاطمئنان. وفي هولندا يذيع معهد الأرصاد على زارعي البطاطس تقارير ينبيء فيها عن الظروف الجوية التي تساعد على تفشي مرض بياض البطاطس، وبذلك يتسع لهم الوقت لرش حقولهم بمخلوط بوردو لوقاية النبات في الوقت المناسب. وتتاح مثل هذه الخدمات لكثير من العمليات الزراعية الأخرى، مثل التقارير التي تذكر كميات المياه التي تفقدها الأرض، وبها يسترشد الفلاحون كأسس لحساب الكميات اللازمة من مياه الري. ومع تقدم العلم سيصبح في الإمكان التنبؤ طويل المدى بظروف الجو، وستتاح بذلك إمكانيات جديدة للإفادة من علم المناخ الزراعي، إذ سيتيسر للخبراء أن ينصحوا بأفضل أصناف الطماطم مثلاً التي تلائم الجو

المنتظر.

وقد تجمعت لدى الفلاحين الخبرة ببعض الوسائل التي يتحكمون بها في الظروف الجوية، فيمكن تعجيل إزهار الدلفيط وغيره باستعمال الضوء الكهربائي، أو باستعمال الستائر لتنظيم طول النهار بالطرق الصناعية. وقد أمكن الحصول على ثمار الطماطم في مايو ويونيو (في منطقة باسادينا بأمريكا) بتغطية النباتات بقماش أسود في فترة نهاية بعد الظهر. ومثل هذه المعاملة تدفع النباتات إلى الإثمار المبكر، إذ تسبق النباتات التي لا تغطى بشهر على الأقل. وأقل من هذه الطريقة نفقة، زراعة الطماطم في الجانب الشرقي من حائط أو في ظل شجرة، وبهذا يمكن أن يبدأ "النشاط الليلي" والجو مازال دافئاً في المساء المبكر. وكلما زادت معارفنا عن استجابة النبات لظروف المناخ استطعنا أن نبتكر وسائل جديدة للتحكم في النمو. ومما يشجع على ذلك أننا في زمن تقدمت فيه علوم التكنولوجيا بحيث يمكن إيجاد الوسائل العملية لتنفيذ المعاملات المبتكرة.

لقد تحدثنا عن تعديل المناخ بما يتلائم مع احتياجات النبات، فهل يمكن تغيير النبات ليتلائم مع المناخ؟ لا يوجد لدينا من الحجج العلمية ما يدل على أن النبات يمكن أن يتحول في فترة زمنية محدودة إلى ملاءمة ظروف جوية جديدة تغاير ما طبع عليه. ولكن الشيء المقبول هو محاولة استنباط أصناف جديدة تلائم الظروف المناخية. وقد تمت محاولات عديدة في هذا الصدد؛ ففي كل ولاية من الولايات الأمريكية توجد محطة تجارب زراعية لها برامج لاستنباط أصناف من الحبوب وغيرها من المحاصيل تلائم الظروف المناخية فيها. ومن المصاعب التي تواجهها هذه البرامج أن المناخ يختلف من سنة إلى أخرى، والصنف الذي يتم استنباطه في سنة ما بحيث يلائم مناخها قد لا يناسب المناخ

المعتاد. وفي المختبر النباتي، حيث يتم التحكم في الظروف المناخية، مجال لاختبار الأصناف التي تناسب ظروفاً جوية معينة. ويجرى الآن في مختبر النبات برنامج لاستنباط أصناف من الطماطم يمكن أن تثمر في درجات الحرارة الليلية العالية على نحو ما يتميز به مناخ تكساس. وتنفق على هذه الأبحاث شركة من شركات زراعة الطماطم الكبرى، وبدأت هذه البحوث بدراسة أصناف الطماطم التي تثمر في درجات الحرارة العالية، ولكن يعيبها رداءة الثمر. ثم هجن بينها وبين أصناف الطماطم ذات المحصول الممتاز ليمكن الحصول على هجين يجمع بين القدرة على احتمال درجات الحرارة وجودة المحصول. وبمثل هذا التهجين يمكن استنباط سلسلة من الأصناف تتفق مع الظروف المناخية المختلفة.

ومن الأمثلة التي ذكرت في هذا المقال يتضح أن هناك مستقبلاً زاهراً لدراسات المناخ الزراعي، وقد أظهرت التجارب التي تمت في "مختبر النبات" أن الدراسات التي تتم في ظروف مناخية تجريبية يمكن أن توفر الكثير من الجهود التي تبذل في الاختبارات الحقلية. ونذكر، على سبيل المثال، أن هذه الدراسات عاونت مصلحة الغابات الأمريكية على اختيار النباتات التي يمكن أن تنمو على المنحدرات الجبلية في جنوب كاليفورنيا. وفي تجربة أخرى تناولت الدراسة عشب الخربق الأمريكي **veratrum viride** الذي تعذرت زراعته في التجارب الحقلية، وظهر أنه نبات يحتاج إلى ستة شهور من درجات حرارة التجمد، يتبعها ستة شهور من درجات الحرارة المنخفضة. وعند الوصول إلى تلك النتائج أمكن زراعة هذا النبات بنجاح في الأجزاء العليا من جبال شمالي وشنطجن. وفي هذه الحالات يبدو المناخ كأهم العوامل التي تتحكم في النمو، وربما كان ذلك هو الحال في كثير من النباتات الأخرى.

ولعل الشيء الأساسي الذي يسعى إليه الإنسان دائباً هو زيادة

الاستغلال الزراعي للطاقة الشمسية، فالزراعة الحالية لا تمسك من هذه الطاقة إلا القليل. وقد دلت التجارب والبحوث المعملية على أن للنبات القدرة على تحويل ما يبلغ ١٠٪ من الطاقة المستمدة من ضوء الشمس إلى طاقة كيميائية تكمن في المركبات العضوية. ولكن الواقع أن ما نحصده من الحقول يحوي ما لا يزيد على ٢٪ من الطاقة الشمسية التي تسقط على حقل من الذرة أو البنجر مثلاً. ومن أسباب هذه الكفاءة المتواضعة للمحاصيل أن أغلبها حولي يبدأ نموه من البذرة، ولا يغطي في مراحل النمو المبكرة غير جزء قليل من سطح الأرض. أما النباتات المعمرة فهي تكسو جزءاً أكبر من سطح الأرض، وتمتص قدراً أكبر من طاقة الشمس، ولكن أكثر ذلك يذهب في تكوين الأوراق والفروع دون الثمر. وفي هذه الميادين مجال فسيح للبحوث عن العلاقة بين المناخ والإنتاج النباتي، والهدف هو زيادة الكساء الخضري لسطح الأرض، وزيادة الكفاءة التي يحول بها هذا الكساء الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية. وقد أظهرت الأبحاث أن للطحالب قدرة تبلغ ضعفين أو ثلاثة أضعاف قدرة النباتات الزهرية على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية. على أن زراعة الطحالب تحتاج إلى إنشاءات باهظة التكاليف، ولاشك أن الجهود العلمية والتكنولوجية ستيسر في المستقبل زيادة كفاءة الكساء النباتي على امتصاص الطاقة الشمسية.

المناخ إذن هو أحد المصادر الطبيعية الكبرى، وحين نعرف معرفة دقيقة العلاقة بين العوامل المناخية والحياة النباتية سيكون في إمكاننا أن نستزيد من فائدة هذا المصدر الكبير.



الجزء الثالث

النمو والشكل

الفصل الأول

نمو عيش الغراب

تتعدد الوسائل والمناهج لدراسة نمو الكائنات الحية، دون أن تبدو فطرة عيش الغراب- للوهلة الأولى- ضمن النباتات التي تحسن دراستها في هذا المجال. ولكن مؤلف هذا الفصل لاحظ عرضاً نمو عيش الغراب في جزء من طريق مرصوف بالأسفلت، فتولته الدهشة لقدرة هذا الكائن الدقيق على شق مكان لنموه خلال مادة الرصف.

على أنه قرأ فيما بعد عن ملاحظة مشابهة لنمو هذه الفطرة في أرض أحد المصانع الروسية. وقد رجع مؤلف هذا الفصل إلى الكتب والمراجع فوجد أن الدراسات موضوع نمو عيش الغراب لم تتناوله غير قليل من الدراسات المنشورة. وأقدم هذه الدراسات هي أغزرها مادة وفي الإمكان القول إن الدراسات المعاصرة لم تضف غير القليل إلى ما جاء في مؤلف العالم النباتي أنطون دي باري الذي عاش في ستراسبورج خلال القرن التاسع عشر. وتحوي دروس علم النبات التي يتلقاها الطلاب الكلام الكثير عن نمو جذور البصل وغيره من النباتات الراقية، ولا يكاد يقال شيء عن نمو عيش الغراب إلا أنها تنمو وحسب.

أما العامة فلا يكادون يعرفون عن عيش الغراب إلا أنه يخلط مع إدام الشواء، وأنه يشتري من الأسواق ويطهى ويؤكل. ويعرف آكلوه أن له رأساً كالمظلة وساقاً غليظة، والنظر الفاحص يبين أن هذا الجسم الشحمي الناعم يتكون من خيوط كشعيرات القطن مضغوطة إلى بعضها البعض، وأن له شعيرات

رقيقة تمتد داخل التربة كالجذور.

وعيش الغراب جسم يحمل جراثيم التكاثر، وعند النضج تنثر خلايا السطح السفلي المتعرج لرأس العرهون جراثيم دقيقة تحملها الريح. وينثر العرهون الواحد أعداداً هائلة من هذه الجراثيم تبلغ نصف مليون جرثومة في الدقيقة الواحدة، ويستمر هذا الفيض مدة ثلاثة أيام أو أربعة. ولو أنك فصلت الرأس عن الساق ووضعتها على قطعة من الورق، فإن الجراثيم المتساقطة سترسم زخرفاً منتظماً. وهذا في الواقع رسم لحوافي الثنيات الخيشومية التي تتدلى من السطح الأسفل لرأس الفطرة. ويستدل عالم النبات على نوع عيش الغراب من لون جراثيمه.

وإذا سقطت هذه الجراثيم في البيئة المناسبة، من أرض أو أكوام الدبال أو خشب متحلل أو غيرها مما يتوفر فيها الغذاء، نبتت عن الجراثيم خيوط تمتد إلى كل ثقب أو شق أو فجوة. وتحوي هذه الخيوط– مثلها في ذلك مثل الجراثيم– أنوية بكل منها نصف عدد الكروموسومات التي توجد عادة في جسم الفطرة. فهي في الواقع جاميطات مثل البيضة وجرثومة اللقاح، أي يجب أن تلتقي وتلتحم قبل أن تنمو. ولا يمكن أن نفرق خيوط الفطرة إلى خيوط مذكرة وأخرى مؤنثة. والواقع أن لأغلب أصناف عيش الغراب أربعة أجناس لا يمكن التزاوج بينها إلا على نحوين اثنين: تزاوج بين ١ و٣ وبين ٢و٤.

وعندما يتم التزواج بين خيطين، تلتحم نواتا الخلايا فيهما وتنضم بذلك كروموسوماتهما، وينتج عن هذا الالتحام نواة تحوي العدد الطبيعي المزدوج للكروموسومات. وعندئذ يستأنف الخيط الجديد امتصاص الغذاء والاستطالة والتفرع والنمو. وطرف الخيط هو جزؤه النامي. وما تزال الأنوية تنقسم، وتتكون جدران عرضية في الخيط تقسمه إلى خلايا، والنمو يطرد. على أن

بالجدران العرضية ثقوباً تسمح بسريان البروتوبلازم بل والأنوية من خلية إلى أخرى في الخيط. وقد درس هذه الظاهرة، بالمزيد من العناية، العالم الكندي الراحل ريجينالد بولر، وظهر من هذه الدراسة أن لهذا السريان البروتوبلازمي أهمية خاصة في نمو الفطرة.

وتكون الخيوط النامية شبكة متداخلة تسمى الغزل الفطري، ينمو ويمتد في الأرض في حلقات تتسع كأنها الحلقات التي تنتشر في سطح الماء إذا ألقى فيه بحجر. والملاحظة التي يصح ذكرها هنا أن عراهين عيش الغراب تنتظم في حلقة دائرية، تبدأ كدائرة صغيرة حول موضع مركزي، ومع توالي الفصول تظهر الحلقات الجديدة في حلقات أوسع، وتعليل ذلك أن كل حلقة تستنزف الغذاء المتاح في التربة في حيز الحلقة، والنباتات الجديدة تظهر في حلقة أوسع حيث الغذاء أوفر، حتى إذا استنزفته بدورها ظهرت النباتات الجديدة في حلقة أوسع فأوسع. وهكذا تنشأ ما تسميه العامة "دوائر العفاريت". وقد ذكر جون رامزبوتوم في كتابه عن فطر عيش الغراب وأضرابه، أن أحد الأنواع واسمه "ماراسميس أورياديس" تتسع دائرته بما يتراوح بين ٥و١٩ بوصة في العام الواحد. وأمكنه من ذلك أن يقدر عمر بعض "دوائر العفاريت" بما يتراوح بين ٤٠٠ و٦٠٠ سنة. وجاء في هذا الكتاب صورة جوية بديعة لواحدة من هذه الدوائر الكبيرة.

وتزرع بعض أنواع عيش الغراب في أرض خصبة غنية بالدبال أو روث الخيل. وتباع في الأسواق أجزاء من الغزل الفطري مع بيانات عن طريقة زراعتها. وتزرع عادة في صوان فيها دبال وتحفظ في مكان رطب هادىء تبلغ حرارته حوالي ٦٥° ف. (١٨.٥° م.) ومن الأماكن الصالحة لهذا النمو الكهوف وأقبية البدرومات. وفي غضون شهور قليلة تنمو الخيوط الفطرية حتى

لتملأ التربة الدبالية، ثم تبدأ بعد ذلك مرحلة الإثمار. وأول ما تظهر تكون على هيئة رءوس بيضاء صغيرة (في حجم رءوس الدبابيس) تنتشر على السطح. وتنمو بعض هذه الرءوس الأخرى. وعندما يبلغ نموها حوالي خمس مليمترات يصبح في الإمكان التمييز بين الرأس والحامل. وما يزال هذا الجسم ينمو طولاً وسمكاً حتى يبلغ ١٥–٢٠ مليمتراً في الطول، وعندئذ يطرد النمو طولاً فقط، وسرعان ما تتفتح الرأس عن الساق الحامل كما تتفتح المظلة.

وقد بدأت أبحاث المؤلف عن نمو فطريات عيش الغراب بدراسة سرعة نمو الأجزاء المختلفة لعيش الغراب الصغير. وطريقة ذلك أن توضع نقط من مداد أحمر على أبعاد متساوية على الساق الصغيرة، ثم تصور الساق فوتوغرافيا على فترات متتالية. وتقاس المسافات الجديدة بين نقط المداد الأحمر. وقد أظهرت هذه الدراسة أن سرعة النمو تتفاوت في الأجزاء المختلفة من الساق؛ فالنمو الطولي يتركز أساساً في المنطقة التي تلي الرأس مباشرة. وقد درس المؤلف ظواهر النمو في المناطق المختلفة بمزيد من التفصيل. ومع أطراد النمو يلاحظ أن النقط المرسومة على أغلب أجزاء الحامل ظلت مستديرة ولم تتغير المسافات بينها ولكن النقط الموضوعة في جزء معين من الساق، وهو الجزء الذي يلاصق الرأس، سرعان ما تتحول إلى خطوط رأسية مما يدل على أن النمو يحدث في هذا الجزء. أما الرأس فالنمو فيه يختلف، وهو أسرع عند الحوافي وأبطأ قرب المركز. وتدل نتائج هذه الدراسات على أن أجزاء عيش الغراب تنمو جميعاً بنشاط متماثل حتى إذا وصل إلى ارتفاع ١٥–٢٠ مليمتراً، تركز النمو في الحامل عند الجزء العلوي الملاصق للرأس، وفي الرأس يكون النمو نشيطاً عند الحوافي وبطيئاً قرب المركز.

وقد كررت هذه الدراسة على عيش غراب منزوع عن الأرض ومحفوظ في

جو رطب. وعلى فطر أخرى شقت طولياً عبر الرأس والحامل. ونأكد في كل هذه التجارب أن النمو الطولي يتركز في الجزء العلوي من الساق. وفي تجربة أخرى فصل هذا الجزء العلوي وحده ووضع في وسط غذائي فبدت عليه دلائل النمو الواضح.

وقد اتضح أن أي دراسة جادة لميكانيكية النمو يجب أن تتناول نمو الخيوط الفطرية وتطورها لتكون عيش الغراب. ولذلك قام المؤلف بدراسات تشريحية وميكروسكوبية دقيقة على الخيوط الفطرية في المراحل المختلفة للنمو دون أن يجد اختلافات واضحة، غير أنه لاحظ علاقة بين النمو الظاهري للفطرة وانتظام الخيوط الفطرية في جسمها فإلى أن يصل الزر إلى حوالي ٤ مليمترات تزدحم الخيوط في تداخل غير منتظم وعندما يزيد الارتفاع قليلاً يبدأ شيء من انتظام الخيوط في صفوف متوازية في جزء الحامل الملاصق للرأس. حتى إذا وصل الارتفاع إلى ١٠ مليمترات تم انتظام الخيوط الفطرية في الجزء العلوي من الحامل. أما بقية الحامل والرأس فتبقى الخيوط فيها متداخلة دون انتظام معين وقد يشاهد أحياناً انتظام بعض الخيوط الفطرية في الرأس على نحو إشعاعي.

كما دلت الدراسات على أن خلايا الخيوط تتوقف عن الانقسام كما تتوقف الزيادة في عدد الخيوط الفطرية عندما يصل ارتفاع عيش الغراب إلى ١٥–٢٠ مليمتر، والزيادة في الارتفاع عند هذا الحد ترجع أساساً إلى زيادة حجم الخلايا. واستطالتها. ويبدو أن كل زيادة في وزن الفطر فترجع إلى زيادة حجم الخلايا وزيادة كمية المادة التي تحويها هذه الخلايا.

والسؤال الذي يتردد هو: ما هي طبيعة الغذاء الذي يمتصه الفطر من التربة؟ هل هو الماء وحده، أم مع الماء غيره من المواد الغذائية؟ وقد دلت مقارنة

الوزن الطري والوزن الجاف للفطرة في مراحل نموها المختلفة، أن وزن الفطرة الجاف ازداد بنسبة مضطردة مع وزنها الطري. ومن الواضح أن الفطرة تمتص من التربة مواد أخرى مع الماء. ومما يثبت ذلك أنه في حالة حفظ قطع من فطر عيش الغراب في جو رطب فإنها تنمو نمواً قليلاً نسبياً لأنها تمتص الماء وحده.

والخلاصة أن شكل عيش الغراب الناضج محدد في الزر الصغير منذ الأطوار الأولى للنمو، إذ تكون الخيوط الفطرية المتداخلة الحامل الذي يتأهب للنمو، فإذا صادفت البيئة المناسبة اندفعت المواد الغذائية من الخيوط الفطرية الأرضية إلى جسم الزر الصغير، ويصاحب هذا الاندفاع استطالة في الخلايا، حتى ليندفع جسم الزر ضارباً إلى أعلى، ويظهر الزر كأنه بالون صغير ينتظر النفخ ليأخذ شكل عيش الغراب. فإذا أتيحت ظروف الغذاء انتفخ ونما عيش الغراب فجأة حتى ليضرب به في ذلك الأمثال. وكثيراً ما تبقى الأزرار مختفية تحت الأوراق المتساقطة أو الحشائش، حتى إذا صادفت ظروف الحرارة والرطوبة المناسبة تمت مراحل النمو والاستطالة بسرعة درامية، كأنها القذيفة أعد لها المدفع وحشي البارود وهيئت كل الأجزاء للإنطلاق، حتى إذا جاء المطر والحرارة لتشد الزناد انطلق عيش الغراب ظاهراً في شكله الناضج.

الفصل الثاني

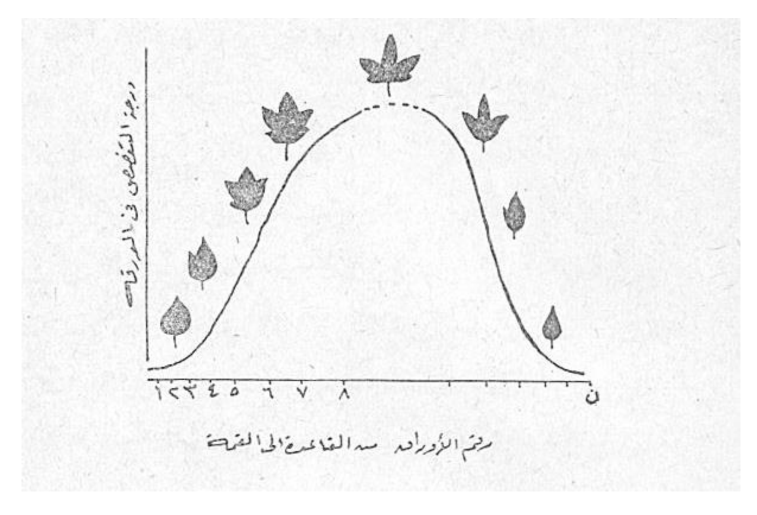
شكل الورقة

يقال إن المتعة الحقيقية في البحث العلمي ليست في مراجعة النتائج ولكن في القيام بالبحث ذاته وجمع مشاهداته. ومن أسف أن هذه المتعة لم تعد ميسرة للهواة في زمان السيكلوترون وأسبكترومترات الأشعة تحت الحمراء وغيرها من أجهزة العلوم الحديثة التي تعتمد عليها البحوث في العلوم الكيميائية والطبيعية. على أن المجال في العلوم البيولوجية ما زال يتيح لصاحب موهبة الملاحظة اكتشافات طريفة دون الحاجة إلى أدوات ومعدات غير ما يوجد عادة في الحديقة والمنزل. ومثال ذلك أن في الإمكان دراسة واحد من الظواهر الأساسية في الحياة، وهي ظاهرة الشيخوخة في النبات بملاحظة أحجام وأشكال الأوراق.

وإذا فحصت بالتدقيق أشكال الأوراق المتتابعة على ساق أي نبات حولي، فإنك ستلاحظ شيئاً يدهشك. وربما لم يسبق لك ملاحظته، ذلك أنه لا توجد ورقتان متشابهتان تمام التشابه، ليكن ذلك النبات الجزر أو العايق أو شب النهار أو التيل أو الكزموس أو بنجر السكر. في هذه النباتات وفي الكثير غيرها تتضح الاختلافات في شكل الأوراق مع تواليها ورقة فوق ورقة على الساق. وهذه الاختلافات ليست عشوائية؛ ففي نبات العايق، على سبيل المثال، نلاحظ ازدياد عدد فصوص الورقة. فاللورقة السفلى تسعة فصوص، وللثانية اثنا عشر فصاً، وللثالثة ثمانية عشر فصاً وهكذا. وفي نبات شب النهار تكون الأوراق الثلاثة أو الأربعة الأولى على شكل القلب، بينما الأوراق التالية أعمق تفصيصاً. وفي نبات العسنب الإنجليزي، تكون الأوراق الأولى مستديرة

بينما الأوراق التالية ضيقة ومستطيلة كأوراق النجيليات. وفي كثير من النباتات تكون هذه الاختلافات منتظمة على نحو يمكن معه التعبير عنها بالرسم البياني (انظر رقم ٥، الذي يبين الاختلافات في شكل ورقة القطن).

وتظهر الدراسة والفحص الدقيق اختلافات أخرى بين أوراق النبات الواحد. فالورقة تغطيها بشرة من خلايا متداخلة يمكن فحصها تحت الميكروسكوب، وتبلغ مساحة الخلية الواحدة جزء من ٥٠٠ مليون جزء من البوصة المربعة، وتتكون بشرة ورقة نبات البنجر أو الطباق من حوالي ٤ مليون خلية. ويلاحظ أن حجم الخلايا يقل كلما ارتفع مكان الورقة على الساق، أي أن خلايا بشرة الأوراق العليا أصغر من خلايا



(شكل ٥)

رسم بياني يوضح تغيرات شكل نصل ورقة نبات القطن. الأوراق الأولى في النبات الصغير بسيطة غير ذات فصوص. الأوراق الوسطى في النبات الناضج شديدة التفصص، بينما الأوراق الأخيرة في النبات المسن أشبه ما تكون بالأوراق الأولى.

بشرة الأوراق السفلى؛ بل إن عدد الخلايا في بشرة الأوراق العليا أقل من

مثيلاتها في الأوراق السفلى. ويعني هذا طبعاً أن الأوراق العليا أصغر من الأوراق السفلى مساحة.

ولنا أن نتساءل عن أهمية هذه الملاحظات عن شكل وحجم الأوراق المتعاقبة على ساق النبات. وعن الفروض البيولوجية التي يمكن استنتاجها من هذه الملاحظات. أما الأهمية العلمية لهذه الملاحظات فترجع إلى أمرين: الأول أنها نموذج للتغير الكمي المرتبط بالسياق الزمني؛ فالأوراق التي ينتجها النبات النامي تتغير على نحو يمكن قياسه مع تقدم النبات في العمر. ومن البديهي أن التركيب الوراثي للنبات لا يتغير بتقدم السن، ولكن هذا التركيب الوراثي الواحد ينتج أوراقاً تختلف أشكالها وحجومها، كأن النبات قطعة موسيقية فيها صور مختلفة من جملة موسيقية واحدة. أما الأمر الثاني فهو أن الاختلافات يمكن أن تكون أساساً لقياس ظاهرة الشيخوخة الفسيولوجية فالأوراق الأولى لنبات العسنب مستديرة وتسمى أوراقاً صبوية، ولا ينبت النبات الناضج مثلها في الظروف العادية، أما إذا وضع النبات في ظروف مثبطة للنمو، مثل الظل الشديد أو الماء الكثير أو كان النبات نامياً من عقلة فإنه ينبت أوراقاً صبوية حتى ولو كان نباتاً ناضجاً. وفي مثل هذه الأحوال يتأخر الإزهار وتتأخر الشيخوخة.

وهنا يبرز سؤال: هل يمكن أن يكون شكل الورقة نوعاً من القياس الذي يستدل به على عمر النبات الفسيولوجي لا عمره الزمني؟ فإذا كان هذا ممكناً فالأمر يستحق الاهتمام والعناية.

واستطراداً لهذه الملاحظات الأولية، يعرض لنا سؤال: كيف ولماذا تختلف الأوراق العليا على ساق النبات الحولي عن الأوراق السفلى؟ التعليل الذي يخطر على البال أول ما ما يخطر هو أن الأوراق العليا تختلف عن الأوراق

السفلى، لأنها تظهر وتنمو في أواخر فصل النمو، والتغير في شكلها وحجمها يعكس التغير في درجات الحرارة والضوء من الربيع إلى الصيف. وأمكن اختبار هذا التعليل بتجربة بسيطة، أجريت على نبات شب النهار. فقد أعدت الأصص وهيئت للزراعة ووضعت جميعها في مكان واحد من صوبة زجاجية، وزرع في بعضها نبات شب النهار في مستهل فصل الربيع، وبعد أسبوع زرعت مجموعة ثانية، وبعد أسبوعين زرعت مجموعة ثالثة وهكذا تتابع الزرع حتى انتهى فصل الربيع. وبذلك تتاح الفرصة لنمو الورقة العاشرة مثلاً في نباتات الزراعة المبكرة، في نفس الوقت وتحت نفس الظروف المناخية التي تنمو فيها الورقة الثانية من نباتات الزراعة المتأخرة. فلو كان التعليل الذي ذكرناه صحيحاً لتوقعنا أن تتشابه الأوراق التي ظهرت ونمت في ظروف مناخية واحدة. ولكن نتائج التجارب العديدة أظهرت بوضوح أن هذه الأوراق غير متشابهة، فشكل الورقة وحجمها يتأثر أساساً بمكانها على الساق، وقد يتأثر شكل الورقة بتغير الفصول، إلا أن تغير تأثر الفصول يختلف جداً عن تأثير موضع الورقة من الساق. ولذلك فهذا التعليل البسيط غير مقبول، وعلينا أن نبحث عن تعليل آخر، لاختلافات شكل الورقة وحجمها، يرجع إلى ظواهر التطورات الداخلية في النبات التي ترتبط بالسن الفسيولوجي.

وعلينا أن نوضح هنا أن فكرة العمر في النبات تختلف كل الاختلاف عن فكرة العمر في الحيوان. ذلك لأن النمو في الحيوان يشمل كافة أجزاء الجسم ويستمر حتى النضج، ثم يظل الحيوان حياً نشطاً لمدة قد تطول بعد توقف النمو. أما النبات فالقدرة على النمو تتركز في أجزاء خاصة منه هي القمم النامية؛ فخلايا القمة النامية في نبات الذرة مثلاً تنقسم باستمرار، وتتحول نتائج انقساماتها إلى خلايا جديدة تكون الأوراق الجديدة، وما تزال فوقها خلايا

لا تتوقف عن الانقسام تسمى الخلايا المرستيمية التي ينتج عنها النمو الجديد. ومن ذلك يتضح أن الأجزاء المختلفة من النبات تختلف في العمر، فالأوراق السفلى قد يبلغ عمرها ٣-٤ شهور، بينما الأوراق العليا لا يجاوز عمرها الساعات. وما دام النبات حياً فالخلايا المرستيمية دائمة التكوين والانقسام عند قمة الساق.

ويمكن أن نستخلص من ذلك أن القمة النامية دائمة الصغر بالنسبة للعمر الزمني، ولكنها ليست دائمة الصغر بالنسبة للعمر الفسيولوجي. فالقمة النامية تنتج في باكورة حياة النبات أوراقاً صبوية، وفي مرحلة النضج أوراقاً ناضجة ثم أزهاراً. وظاهرة الشيخوخة في النبات تحدث حتى ولو لم يتعرض النبات لتغير في ظروف التغذية والضوء. ولا شك أن هذا الأمر ينطوي على موضوع رئيسي في دراسة الحياة: موضوع التعرف على أسباب الشيخوخة. والهدف من دراسة شكل الأوراق وتركيبها التشريحي هو وضع أساس لقياس هذه الظاهرة، والقياس هو الخطوة الأولى نحو فهمها وإدراك كنهها.

وقد قام مؤلف هذا الفصل بدراسة تتعلق بهذا الموضوع على نبات عدس الماء، وهو نبات ينمو طافياً على سطح الماء الراكد. ويتكون النبات من جسم أخضر يقرب من حجم حبة العدس أو يزيد قليلاً، له جذور قليلة وضعيفة. يتكاثر هذا النبات الصغير خضرياً بأن ينمو، من جزء يشبه الجيب في جانب النبات، فرخ يكبر حتى إذا قارب النضج نبت فرخ ثان من الجانب المقابل، ثم ينفصل الفرخ الأول بينما يكبر الفرخ الثاني حتى إذا قارب النضج نبت فرخ ثالث في موضع الأول، فإذا تم نضج الفرخ الثاني انفصل ونبت في موضعه فرخ رابع. وقد ينبت فرع خامس أيضاً قبل أن تنتهي حياة النبات الأم. وتستغرق هذه الحياة قرابة ٤٥ يوماً. والنباتات الخمس التي أفرختها الأم تشبه خمس

أوراق متتابعة على ساق نبات عادي. والملاحظة الهامة هنا، هي أن النباتات الوليدة يتناقص حجمها تناقصاً مطرداً، حتى إن النبتتين الرابعة والخامسة لا يكاد يبلغ حجمهما نصف حجم النبتة الأولى. ويظهر هذا التناقص في قوة نشاط الخلايا المرستيمية للنبات الأم رغم المحافظة الصناعية على ظروف البيئة والجو الغذاء.

وهذه الظاهرة يمكن تعليلها فسيولوجياً بأحد فرضين، الأول: أن النبات الأم ينتج مادة منشطة للنمو تستنفذها النباتات المتتالية تدريجياً وبذلك يقل ما يصل الفرخ الخامس من هذه المادة عما كان لدى الفرخ الأول. والفرض الثاني هو أن النبات الأم ينتج مادة مثبطة للنمو ماتزال تتراكم مع الزمن حتى تبلغ ذروة تأثيرها على الفرخ الأخير. وقد أجريت تجربة بسيطة لمعرفة أي الفرضين أصح، وذلك بفصل الأفراخ غير الناضجة عن أمهاتها، فظهر أن الفرخ الذي يفصل عن أمه لا ينمو إلى حجمه الطبيعي إنما يبقى قزماً ويثبت ذلك أن النبات الأم يرسل إلى النبتات الوليدة مادة تنشط النمو، فإذا حرمت منها بهذا البتر عجزت عن النمو الطبيعي. وقد يدل ذلك أيضاً على أن ما سبقت الإشارة إليه، من أن تدرج حجم الأفراخ نحو الصغر، إنما يرجع إلى أن مادة تنشيط النمو التي تفرزها الأم يقل ما يصل منها إلى الأفراخ تدريجياً مع توالي ظهورها.

ولكن للقصة بقية. إذ لو اقتصر التفسير على ما سبق لاستمر تضاؤل حجم نباتات عدس الماء من جيل إلى جيل حتى تصل إلى العدم. ولكن الواقع غير ذلك، فلا يكاد يختلف متوسط حجم نباتات عدس الماء. وسبب ذلك أن الفرخ الرابع أو الخامس، وهو قزم الحجم، تولد عنه أفراخ أكبر منه كأنما يمضي تاريخ الحياة إلى شيخوخة تصغر بها الأفراخ، تتبعها صبوة ينتج عنها أحفاد كبار. ذلك لأن العمر الفسيولوجي– بخلاف العمر الزمني– يمكن أن ينقلب

من شيخوخة إلى صبوة.

تذكرنا هذه الدورة، بحياة النبات الحولي، فالنبات ينمو ويهرم ويشيخ ثم يموت في آخر الموسم، تاركاً خلفه بذوراً تستنبت فتعيد سيرة النبات صبياً. ولكن نبات عدس الماء يبين ظاهرة التصبي بدون الاعتماد على البذور.

وما تزال هذه الدراسات في حاجة إلى استزادة قبل إمكان الوصول إلى نظرية عامة تتضمن تعليلاً لظاهرتي الشيخوخة والصبى ولكن آراء عالم النبات الروسي ن.ب. كرينك– المتوفي عام ١٩٤٠– تتضمن بعض الفروض العامة التي تستحق النظر. فقد لاحظ أن أوراق بعض أصناف القطن تختلف شكلاً حسب موضعها على الساق؛ فالأوراق المتتابعة يزداد تفصصها عمقاً حتى مستوى معين على الساق، ثم يقل بعده تفصص الأوراق المتتابعة على هذا الساق. فإذا بدأ التفصص في ورقة مبكراً عن العادة بدأ الإزهار أيضاً مبكراً، والعكس بالعكس. ولذلك اقترح كرينك أن يعتبر التغير في تفصيص الورقة مقياساً للعمر الفسيولوجي للنبات. واقترح أن نمو الفروع الجانبية من براعم على الساق الأصلي يمثل نوعاً من التصبي ذلك لأن تتابع اختلافات الأوراق على الفروع هو تكرار لتتابعها على الساق الأصلي، على أن التكرار غير مطابق تماماً. فالورقة الأولى على فرع سفلي أقل تفصصاً من الورقة المقابلة على الساق الأصلي، بينما الورقة الأولى على فرع علوي أكثر تفصصاً من الورقة المقابلة لها على الساق الأصلي على أن هذا أمر متوقع إذا قبلنا الفرض الأول. وهو أن شكل الورقة يعتبر مقياساً للعمر الفسيولوجي.. والفرض الثاني وهو أن الفروع الجانبية (مثلها في ذلك مثل أحفاد الأفراخ لنبات عدس الماء) أصغر في عمرها الفسيولوجي من جزء الساق الذي تفرعت عنده. ولما كان تفصص نصل الورقة في هذا النبات يدل في أول الحياة على تقدم العمر ويدل فيما بعد ذلك على

التصبي، فالمتوقع أن تكون أوراق الفروع العليا "الصبية" أعمق تفصصاً.

ولكن فروض كرينك لا تعلل هذه التغيرات المتتابعة، ولا تصف كل أنواع التغيرات. ولكنها فكرة فيها جرأة وأصالة، وتستحق الدراسة والمتابعة، وهي تدلنا على أن دراسة وتحليل شكل الأوراق قد يصبح موضوعاً هاماً في العلوم البيولوجية.

الفصل الثالث

مزارع الأنسجة

لكل خلية مجموعتان من الصفات. المجموعة الأولى هي الصفات الأساسية التي تنبثق من ذاتية الخلية، وهي صفات ثابتة لا يمكن تغييرها إلا إذا فقدت الخلية حياتها. والمجموعة الثانية تنبثق عن علاقات الخلية بالظروف المحيطة بها والتي تتضمن ملايين من الخلايا الأخرى، وهذه الصفات قد تتغير بتغير هذه العلاقات دون أن تفقد الخلية حياتها. ويمكن أن نسمي المجموعة الأولى الصفات الذاتية، والثانية الصفات الاجتماعية. ومن العسير التمييز بين هذه الصفات مادامت الخلية مستقرة في مكانها الطبيعي من جسم الكائن. أما إذا فصلت خلية، أو مجموعة من الخلايا، من مكانها الطبيعي ونقلت إلى وسط جديد به الاحتياجات والظروف التي تحفظ على هذه الخلية حياتها، فإننا بذلك نستعيد الجانب الاجتماعي من حياة الخلية، ويتسنى لنا أن نتعرف على صفاتها الذاتية وأن نستنتج أثر العوامل الاجتماعية على حياتها. ومثل هذه الخلايا أو الأنسجة التي تفصل عن مواضعها الطبيعية، وتوضع في ظروف صناعية تحفظ عليها الحياة تسمى "مزارع الأنسجة".

ومن التجارب البسيطة أننا لو أخذنا عقلة من فرع صفصاف طولها قدم واحدة، وغرزناها في رمل ورويناها، فإن الجذور ستظهر في الجزء المغطى بالرمل، والأوراق ستظهر في الطرف الآخر وسينمو من ذلك شجرة جديدة. ولو أخذنا قطعة مماثلة من فرع صفصاف، ثم قسمناها إلى ستة أجزاء طول كل منها بوصتان، وغرزنا هذه القطع في الرمل ورويناها لأنبتت كل منها جذوراً وأوراقاً

وانتهت إلى شجرة جديدة. ومن ذلك نتبين أن الأنسجة في الجزء المغروز من العقلة الطويلة الأولى (ويزيد على بوصتين) أنبت جذوراً فقط، بينما الأنسجة المشابهة لها تماماً من العقلة القصيرة أنبتت جذوراً وأوراقاً. فالخلايا التي أنتجت الأوراق في العقلة القصيرة كانت هي العليا في موضعها بالنسبة إلى غيرها، أما مثيلاتها في العقلة الطويلة، فكانت في أسفل خلايا أنسجة كثيرة. ويدل ذلك على أن نشاط الخلايا وتطورها إلى جذور أو أوراق، إنما يعبر عن أوضاع اجتماعية بالنسة للنشاط العام للكائن.

أما إذا أخذنا قطعة صغيرة من الأنسجة الداخلية من قمة الساق النامية، أو من المناطق النامية فيما بين الخشب والقلف، فإن نشاطها والاحتياجات اللازمة للمحافظة على حياتها، تختلف عن العقل كل الاختلاف. فلو غرزت مثل هذه القطع في الرمل ورويت فإنها تموت بعد قليل، فهي تحتاج إلى وسط غذائي يحوي الأملاح والسكريات والفيتامينات وغيرها من المواد اللازمة للنمو. وفي مثل هذا الوسط الغذائي تنمو الخلايا وتتضاعف دون أن تنبت عنها جذور أو أوراق، بل تنمو إلى كتلة لا شكل لها من الخلايا ويمكن الاحتفاظ بها حية نامية شهوراً وسننامية شهوراً وسنوات. هذا هو مثال لمزرعة الأنسجة. فإذا راعينا عند فصل النسيج أن يحوي نوعاً من الخلايا دون غيرها مما قد يؤثر عليها اجتماعياً، أمكننا أن نتيح للخلايا فرصة ممارسة صفاتها الذاتية. ومثل هذا النسيج يكبر وتتضاعف خلاياه نتيجة للانقسام والنمو. ويمكن أن يقسم إلى أجزاء ذات أصل وصفات وراثية واحدة، وتاريخ بيئي واحد وتسمى هذه الأجزاء عند زراعتها: مزارع الأنسجة التوأمية، وتتميز جميعاً بصفات ذاتية واحدة ويمكن الإفادة منها في دراسة أثر تغير العناصر الغذائية ودرجات الحرارة والحموضة وغيرها على إنبات الجذور أو الأوراق أو ترسيب المواد الخشبية أو

غير ذلك مما ترغب في دراسته.

وقد يبدو كل ذلك بسيطاً يسيراً. ولكن الواقع أن التعرف على الاحتياجات الغذائية والتوصل إلى الطرق العملية للمحافظة عليها، عسير جداً. لأن ذلك يعتمد على أسس علم التغذية وهو من فروع العلم الحديثة التي لا تزال تحتاج إلى تدعيم. وقد بدأت هذه الدراسات على يدي العالم الألماني هابر لاندت عام ١٨٩٨ وانقضت أربعون سنة إلى أن تمكن بعض العلماء الفرنسيين، كما تمكن مؤلف هذا الفصل في عام ١٩٣٩ من التوصل إلى الطرق الناجحة لمزارع الأنسجة. ولما نشرت هذه البحوث أصبحت الأساس المكين لدراسات مستفيضة في هذا الموضوع خلال السنوات التي تلت.

كانت المشكلة هي التعرف على الاحتياجات الغذائية لقطع النسيج النباتي. فلو أجرينا تجربة على شريحة من ساق غضة لنبات الطماطم، ووضعناها على رمل مبلل أو جيلاتين مشبع بالماء، وراعينا ألا يصيبها العفن فإن هذه القطعة من ساق الطماطم ستتوالى عليها تغيرات مميزة. فإنت كانت القطعة كبيرة قد ينبت منها جذور وأوراق مثلما حدث في عقلة الصفصاف التي جاء ذكرها من قبل والأرجح أنها تنتفخ؛ فالخلايا السطحية تمتص الماء وتنتفخ به حتى لتصبح كالأكياس المائية، وتنشط بعض الخلايا تحت السطح لتنقسم في اتجاه مواز لاتجاه السطح المقطوع، وتتحول الخلايا الجديدة إلى أنسجة فلينية، أما الخلايا الداخلية فتتحول جميعاً إلى خلايا خشبية، فإذا تم ذلك توقف النسيج عن النمو. ويدل ذلك على أن الوسط الذي تم فيه النمو لم يكن وسطاً غذائياً يتيح النشاط الطبيعي المستمر.

كلنا نعرف أن الجذور المعزولة يمكن الاحتفاظ بها حية نامية لسنوات عديدة إذا حفظت في محلول بسيط يحوي بعض الأملاح وسكر القصب ومادة

الثيامين، ويضاف إلى المحلول مادة أخرى أو مادتين تختلف حسب نوع الجذور موضع الدراسة. ففي حالة جذور الطماطم تلزم إضافة الجليسين– وهو أبسط الأحماض الأمينية– أو إضافة فيتاميني البيريدوكسين والنياسين. وقد يكون من المنطقي أن نستنتج أن أنسجة ساق النبات تنمو بنجاح على نفس الوسط الغذائي الذي تنمو عليه جذوره. ولكن الواقع يخالف ذلك، فأنسجة الساق تحتاج إلى مادة إضافية هي في الغالب مادة الهورمون النباتي (أوكسين) التي تسمى أندول حمض الخليك، على أن زيادة تركيز هذه المادة عن الكميات الطبيعية تؤدي إلى التسمم. وقد سبقت الإشارة (في الجزء الأول) إلى أن مادة ٢ر٤– د القريبة من مادة الأوكسين، تستعمل لقتل الحشائش وتطهير الحقول، ولكن الكميات القليلة منها تنشط لتنمو، فإذا أضيفت، بمقدار جزء على مائة مليون جزء، إلى الوسط الغذائي الذي تربى عليه مزرعة النسيج، فإنها تمنع تكوين الخلايا الفلينية والخشبية وتنشط انقسام الخلايا فينمو النسيج على غير انتظام، وتستمر الخلايا في انقسامها ونموها.

وقد أصبح من المعروف أن إضافة مادة أندول حمض الخليك تيسر النجاح لمزارع الأنسجة. على أن التجارب أظهرت أن مادة نافثالين حمض الخليك أكثر فائدة لأنسجة نباتات كثيرة. وربما تحتاج بعض الأنسجة لمواد غذائية إضافية مثل البيوتين أو حمض البانتوثينيك أو الإينوسيتول أو غيرها من الفيتامينات. ولكن أندول حمض الخليك أو أضرابه هي في الأعم الغالب المواد التي لا غنى عنها بالإضافة إلى المواد الغذائية الأساسية.

وقد تمت خلال السنوات الأخيرة، زراعة ودراسة أنسجة مأخوذة من نباتات مختلفة. وكان الجزر أول نبات تناولته الدراسة. ولوحظ أن أنسجة الجزر تحتاج إلى إضافة مادة الثيامين إلى المحلول الغذائي إذا حفظت المزرعة في الظلام،

أما إذا تعرضت للضوء فهي في غير حاجة إلى هذه المادة إذ تنتج الأنسجة ما يكفيها من الثيامين. وأنسجة الجزر تتميز باستقطابية واضحة تفقدها وتفقد قدرتها على إنبات الجذور بعد أربع أو خمس نقلات. والمقصود بالنقلة تقسيم النسيج بعد تضخمه إلى أجزاء، ونقلها إلى وسط غذائي جديد. وقد تبين أن بعض أنسجة الجزر يستغني، مع طول عمر المزرعة، عن مادة أندول حمض الخليك، إذ تكتسب القدرة على إنتاج ما تحتاج إليه من هذه المادة. ومثل هذا التغير يسمى "التطبع". على أن ظاهرة التطبع لم تشاهد في كافة أنسجة الجزر التي درست، كما ولم تتضح بعد الظروف التي تسبب هذا التغير الذي يتم في بعض الحالات، ولا شك في أن التعرف على هذا التغير وتوضيح مسبباته سيكون له أكبر الأثر في فهم ظواهر نمو الأنسجة عموماً.

وتحوي أغلب الأنسجة النباتية، عندما تفصل عن مواضعها في النبات، على قليل من مادة الأوكسين يعتمد عليها نمو النسيج في مراحله المبكرة، ولكن هذا النمو سرعان ما يتوقف. ومن الأنسجة التي تستعمل في هذه التجارب أجزاء من درنات نبات الطرطوفة وتتميز أنسجته بعدم وجود أي أثر لمادة الأوكسين بها، وبأنها لا تنمو مطلقاً بدون إضافة أوكسين صناعي، ومن أجل هذا فهي مادة صالحة جداً لدراسة أثر التركيزات المختلفة للأوكسين على النمو. أما أنسجة نبات أبي ركبة فهي غنية جداً بمادة الأوكسين حتى لتتعذر تربيتها في مزارع الأنسجة لأن تركيز الأوكسين يسممها ويمنع انقسام الخلايا فتنتفخ الخلايا ثم سرعان ما تنفجر.

ولدراسات مزارع الأنسجة أهمية خاصة في أبحاث الأمراض النباتية. فقد كان المعروف عن فطرة مرض البياض الزغبي الطفيلية أن أحداً لم يتمكن من دراسة حياتها في المعمل. ولكن تقدم دراسات مزارع الأنسجة يسر زراعة

ودراسة هذه الفطرة على وسط من أنسجة نبات العنب. كما أمكن أيضاً دراسة فيروس مرض تبقع الطباق، وفيروس مرض التحوصل القمي في نباتات الطباق والطماطم، مما يسر التعرف على أوجه كثيرة لهذه الأمراض.

ومن الأنسجة التي أمكن تنميتها في المزارع، أنسجة من نباتات الزعرور والورد وأنف العجل والتوت الشوكي والعليق العنبي. وتم أخيراً التعرف على المعاملات الغذائية المناسبة لمزارع أنسجة الصفصاف بعد دراسة استغرقت ١٥ سنة. وتتفاوت احتياجات أنسجة هذه النباتات تفاوتاً بيناً كما تختلف طبائع نموها. فبعضها، مثل الصفصاف، يحتاج إلى عدد من الفيتامينات وغيرها من المواد، وبعضها الآخر مثل الجزر يحتاج فقط لمادة أندول حمض الخليك ثم يستغنى عنها عندما يتم التطبع وتتميز بعض الأنسجة بنمو استقطابي أي ذي اتجاهات محددة، بينما تنمو بعض الأنسجة على غير نظام. وتنمو عن بعض الأنسجة مزرعة متماسكة نتيجة لنمو جميع الخلايا السطحية وانقسامها، بينما يتعمق النمو والانقسام في البعض الآخر، وينتج عن ذلك كتل غير متماسكة سهلة التفكك، وفي بعض الأحيان تكون كالمسحوق. وتختلف ألوان المزارع، فأنسجة العليق العنبي بيضاء كالبرد، وأنسجة الجزر صفراء وتكاد تكون أنسجة نبات الدباح **scorzonera** سوداء. ولا يكاد الحصر يلم بكافة العلاقات بين استجابة الأنسجة لظروف التغذية والاحتياجات البيئية. كما أن الإمكانيات العلمية لدراسات هذه المزارع غير محدودة.

ولنذكر وجهاً من هذه الدراسات لم يكن في الحسبان من قبل، وأصبح له الآن أهمية خاصة، ذلك هو استعمال مزارع الأنسجة في دراسة السرطان. الأورام السرطانية هي أجزاء من أنسجة الجسم تحررت خلاياها من حدود العلاقات الاجتماعية التي يتميز بها النمو الطبيعي. ونحن عندما نهيىء مزارع

الأنسجة إنما نحرر خلاياها عمداً من هذه الحدود، أي أننا نحول الأنسجة الطبيعية إلى ما يقرب شبهاً من أنسجة الأورام. تلك مشابهة صناعية، ولكن يمكن الاعتماد عليها في الاستدلال على بعض الأنماط التي تنشأ عليها الأورام. وعلاوة على ذلك أصبح في إمكاننا أن ندرس أنسجة الأورام النباتية التي تنشأ طبيعياً في بعض النباتات دراسة معملية. ففي النباتات أنواع كثيرة من الأورام تتمثل فيها الأنواع الرئيسية للسرطان الموجود في الحيوانات ففي النباتات أورام وراثية، وأورام فيروسية، وأورام تسببها المعاملة ببعض المواد الكيميائية، وأورام تسببها الكائنات الدقيقة كالبكتريا، وهناك أيضاً أورام لا تعرف مسبباتها بعد. ويمكن إعداد مزارع تنمو فيها أنسجة هذه الأنواع جميعاً. وقد أظهرت دراسات هذا الموضوع وجود نوعين على الأقل من الأورام النباتية تتميز بالعقم، ولكنها قادرة على التكاثر وإنتاج أورام جديدة إذا نقلت إلى نبات سليم، أي أن لها ما يقابل بعض الصفات التي تتميز بها خلايا السرطان الخبيثة في الإنسان. كما أمكن تجميع معارف كثيرة عن المراحل التي تتكون بها هذه الأورام. فثبت مثلاً أن مزارع أنسجة الأورام لا تحتاج إلى إضافة مادة الأكسين إلى الوسط الغذائي.

بل إذا وضعنا جزءاً من نسيج طبيعي مع جزء من نسيج ورمى فإن الأول ينمو بدون حاجة إلى إضافة الأوكسين إلى المزرعة. أي أن النسيج الورمي يفرز كميات من الأوكسين تكفي لتنشيط نمو النسيج الطبيعي الموضوع إلى جواره. ومثال آخر– إذا وضعت شرائح السريس على رمل رطب فإن السطح العلوي ينبت براعم والسطح السفلي ينبت جذوراً. فإذا دهن السطح العلوي بمعجون به أوكسين، أو طعم بأجزاء من نسيج ورمي، فإن البراعم يمتنع ظهورها. أي أن الخلايا الورمية يمكن أن يكون لها تأثير معجون الأوكسين. نضيف إلى هذا أن الأنسجة الورمية لا تستجيب للمعاملة بكميات متوسطة من الأوكسين كما

تستجيب الأنسجة الطبيعية. ويدل ذلك على أن التغير من خلية طبيعية إلى خلية ورمية يتضمن زيادة في قدرتها على إنتاج الأوكسينات أو على الأقل على توفرها. ومن المهم أن نتابع بالدراسة منهاج هذا التغير.

ومن النتائج الهامة التي أفضت إليها هذه الدراسات، هي السرعة الخارقة التي تتغير بها الخلية من حالتها الطبيعية إلى حالتها الورمية. فقد ظهر من دراسة التورم القمي الذي يحدثه في النبات نوع من البكتريا أن التغير من الحالة الطبيعية إلى الحالة الخبيثة يتم في مدى عشر ساعات في حدود درجات معينة للحرارة. وهذه البيانات أدق مما أمكن جمعه عن الأورام الحيوانية.

ويجرى النشاط العلمي حالياً في أماكن كثيرة لدراسة كافة الظروف المناسبة لتربية مزارع الأنسجة النباتية الطبيعية والورمية. وتشمل الدراسات تأثير الأيونات الغذائية ومصادر الطاقة، والمواد الغذائية العضوية الخاصة، والمواد الغذائية والفيتامينات والهورمونات، ودرجات الحرارة والضوء، ودرجات الحموضة والضغط لأسموزي وغيرها. وقد أسفرت هذه الدراسات عن بيانات ومعلومات ضافية عن احتياجات الأنسجة النباتية وما يمكن تحقيقه بتغيير الأحوال البيئية. أما معلوماتنا عن احتياجات مزارع الأنسجة الحيوانية فأقل بكثير. والواقع أن صورة هذا الموضوع قد تغيرت خلال العشر السنوات الأخيرة تغيراً شاملاً، حتى أصبحنا نحاول الآن دراسة مزارع الأنسجة الحيوانية بالطرق التي ثبت نجاحها في دراسة الأنسجة النباتية. ومن المأمول أن يصبح في الإمكان تيسير المشاكل الغذائية المعقدة التي تتضمنها الطرق الكلاسيكية في تربية مزارع الأنسجة الحيوانية والتي تعتمد على وسط غذائي من مخلوط عصير جنيني وبلازما الدم.

والعقبة التي تواجه تقدم الدراسات في هذا الميدان العلمي الفسيح هي

قلة الأفراد العلميين ذوي الكفاءة والمران على النهوض بأعباء هذه الدراسات. والأمل وطيد في أن هذه العقبة ستجد الحل المناسب خلال السنوات القليلة المقبلة.

الجزء الرابع

الأوراق الخضراء والأوراق الحمراء

الفصل الأول– عملية التمثيل الضوئي تأليف: يوجين أ. رابينووتش

الفصل الثاني– ألوان الخريف. تأليف: كينيث ف. ثمان

الفصل الأول

عملية التمثيل الضوئي

مازالت عملية التمثيل الضوئي إحدى الموضوعات البيولوجية التي لم نتوصل بعد إلى الإدراك الكامل لأسرارها. أساس هذه العملية هو القدرة على تخليق المركبات العضوية من الماء وثاني أكسيد الكربون في وجود الضوء. ولعل الشيء الذي بينته البحوث التي أجريت خلال السنين الأخيرة هو أن العملية أكثر تعقيداً مما كان مظنوناً. ورغم كل الجهود المضنية والدراسات المستفيضة فلم يتسن بعد فصل هذه العملية عن غيرها من العمليات الحيوية التي تتم في الخلية. ومن ثم لم تتح الفرصة لتحليلها إلى مجموعة من التفاعلات الكيميائية الأساسية. والواضح أن عملية التمثيل الضوئي كغيرها من مجموعات التفاعلات التي تتم عن الخلية، ترتبط بتركيب الخلية، حتى ليصعب أو يستحيل تكرارها خارج الخلية: ويمكننا أن نتصور وجود عدد من الأنزيمات التي تدخل في سلسلة متتابعة من التحولات الكيميائية: هذه الأنزيمات منتظمة في إطار يتيح لها التحكم في العمليات الكيميائية بحيث توجه كل جزيء كيميائي في طريقه المحدد في مراحل متتابعة من سلسلة التحولات، لا يخرج عنها. والسبب الواضح لأهمية هذا التنظيم الآلي لعملية التمثيل الضوئي أنها تتضمن تكوين الكثير من المركبات الوسطية غير الثابتة التي لا يمكن السماح لها بالتحرك الحر في مجال التفاعلات وإلا فقدت كيانها بالاتحاد مع غيرها من المواد. ولذلك لا تترك المركبات الناتجة إطار الأنزيمات قبل أن يكون قد تم تحويلها إلى جزيء أكسجين في طرف ومركب عضوي (سكر) في الطرف الآخر.

وقد تجمعت لدينا بيانات كثيرة عن تركيب الجهاز الذي يقوم بعملية التمثيل الضوئي. فالكلوروفيل هو الوسيط الأساسي، ويوجد في أجسام صغيرة داخل الخلية تسمى البلاستيدات الخضراء. ويبدو أن مادة الكلوروفيل تتركز في حبيبات أصغر في داخل تلك البلاستيدات. وقد أظهر الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني أن هذه الحبيبات الخضراء، أسطوانية الشكل يبلغ قطرها حوالي نصف ميكرون وارتفاعها حوالي خمس ميكرون، وكثيراً ما تتفكك هذه الأسطوانة إلى ٢٠ أو ٣٠ قرصاً رقيقاً. من المعتقد أن هذه الأقراص تتكون أساساً من مواد بروتينية وأنها تتلاصق بمادة شبه دهنية. ولا توجد الحبيبات الخضراء في بلاستيدات بعض النباتات وخاصة الطحالب، تتكون البلاستيدة من صفائح رقيقة متوازية تسمى الرقائق. على أن الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني بعد تحسينه، أظهر أن البلاستيدات الحبيبية تحوي أيضاً رقائق تمتد خلال جسم البلاستيدة جميعاً. ويبدو أن هذه الرقائق تتغلظ في بعض المناطق فتكون أجسام الحبيبات الخضراء التي تبدو كأنها منفصلة عن الرقائق الأصلية.

أي ضوء تلقيه هذه الحقائق التي تكشفت لنا من إدراكنا لوضع مادة الكلوروفيل ودورها في عمليات التمثيل الضوئي. المعروف أن جزيء مادة الكلوروفيل أشبه ما يكون بأبي دنيبة (فرخ الضفدع) فله جسم أخضر اللون، مربع الشكل كالرأس المفلطح هو كلوروفيلين وذنب طويل ليس له لون ومربوط في أحد أركان الرأس وهو كحول فيتول. ولما كانت القاعدة في العلاقات بين الجزيئات العضوية أن الشيء ينجذب إلى شبيهه ويجذبه، ولما كان لرأس جزيء الكلوروفيل قطبان أحدهما موجب والآخر سالب، ولما كان جزيء الماء مركباً قطبياً أيضاً فإن رأس جزيء الكلوروفيل تنجذب إلى جزيء الماء ويقال عن مثل هذه المركبات إنها محبة للماء، أما ذنب الكلوروفيل فهو مركب غير قطبي ولا

يجذب الماء ويقال عنه إنه مركب كاره للماء. والمعروف أن البروتينات مركبات محبة للماء، وأن الدهون مركبات كارهة للماء. ويقال إن مادة الكلوروفيل تتجمع فيها بين الرقائق البروتينية والطبقات الدهنية في البلاستيدة، وتكون رءوسها داخلة في البروتين وذيولها مغموسة في الدهن. هذه الصورة الافتراضية قريبة إلى القبول.

ومن الفروض المعقولة، أن الرقائق البروتينية في البلاستيدة الخضراء هي المجال الذي تتم فيه مجموعة العمليات الكيميائية المتتابعة التي يتكون منها التمثيل الضوئي. وتأخذ بعض البروتينات وظيفة الأنزيمات الأساسية بينما يأخذ بعضها الآخر وظائف مساعدة. أما الطبقات الدهنية التي بين الرقائق فهي المسالك التي تسري فيها المركبات العضوية الوسطية غير القطبية من الرقائق البروتينية وإليها. أما العمليات الكيميائية الحرة التي يتضمنها التمثيل الضوئي ولا تتقيد بتركيب الحبيبات فقد تتم خارج الحبيبات الخضراء، أو حتى خارج البلاستيدة نفسها.

وأقرب التفاعلات المعملية إلى عملية التمثيل الضوئي، هي "تفاعيل هيل" ومجمله أن البلاستيدات الخضراء إذا نزعت عن الخلايا، ووضعت في الماء وعرض الجميع لضوء الشمس، فإن الماء يتأكسد وينطلق منه غاز الأكسجين. وليسنى لهذه العملية الاستمرار يلزم إضافة مادة مؤكسدة مثل أملاح الحديديك أو الفيرايسيانيد أو الكينون أو بعض الأصباغ العضوية، والذي يؤكسد الماء في عملية التمثيل الضوئي هو ثاني أكسيد الكربون، ويحتاج مثل هذا التفاعل إلى طاقة كبيرة، لأن الماء يمسك في حرص شديد بذرات الإيدروجين فيه، وثاني أكسيد الكربون لا يقبل ذرات الإيدروجين بسهولة، والطاقة المطلوبة لهذه العملية تأتي من ضوء الشمس، حيث يختزنها النبات على شكل طاقة كيميائية. ونذكر هنا أن المواد المؤكسدة التي تستعمل في تفاعل هيل تتقبل الأيدروجين بسهولة أكبر من ثاني أكسيد الكربون. ولذلك فإن هذا التفاعل لا يختزن من

الطاقة إلا القليل إذا قورن بعملية التمثيل الضوئي الطبيعية.

وقد حاول كثير من الباحثين تعديل تفاعل هيل باستعمال مؤكسدات أقل قبولاً للإيدروجين، والقصد من ذلك زيادة الطاقة المختزنة وتقريب التفاعل إلى العملية الطبيعية. ولكن الصعوبة الأساسية التي تلاقيها هذه التجارب هي عدم ثبات المركبات الوسطية واتجاهها نحو التفاعل عكسياً. ويمكن تشبيه ذلك بكرة مطاطة تقذف إلى السقف فترتد مالم يمسكها في السقف شيء. ففي الخلية الحية تتولى بعض الأنزيمات إمساك المركبات الوسطية، وذلك في مستوى الطاقة العالية التي استخلصتها من ضوء الشمس على أن هذه الأنزيمات تفقد عادة عند تحضير البلاستيدات الخضراء معملياً لإجراء تفاعل هيل، فالمشكلة هي التعرف على هذه الأنزيمات وتحديد مناهج عملها.

أجريت تجارب لاختراع مصايد صناعية لمسك المركبات الوسطية ومجمل هذه التجارب، وهي أساساً استمرار لتفاعل هيل، أن يستعمل فيها كعامل مؤكسد مادة نيوكليوتيد البيريدين، وهي أقل قليلاً في قبولها للأيدروجين من ثاني أكسيد الكربون، ويستعمل حمض البيروفيك كماسك، مع إضافة بعض الأنزيمات التي توجه الأيدروجين نحو الماسك. وكان المأمول أن تأخذ الأنزيمات بعض ذرات الأيدروجين المدفوعة إلى نيوكليوتيد البيريدين، ثم توجهها إلى حمض البيروفيك قبل أن ترتد إلى أصلها ولما كانت نواتج اختزال حمض البيروفيك ثابتة نسبياً، فإن المتوقع أن بعض النواتج الوسطية لأكسدة الماء التي لا تجد مواد مرافقة غير ثابتة لتتفاعل معها قد تتحول إلى أكسجين ينطلق خارج الخلية. وقد نجحت هذه التجارب، وأدى حمض البيروفيك دوره وتم اختزال بعضه، وانطلق قدر متناسب من الأوكسجين الحر إلى الهواء. ولكن هذا القدر كان ضئيلاً جداً، أي أن التفاعل لم يصل إلى المستوى العالي من الكفاءة الذي

تتميز به التمثيل الضوئي، وهذه الكفاءة العالية في الخلية ترجع غالباً إلى الصفات التركيبية لعوامل إمساك المركبات الوسطية. هذه الصفات تختفي عندما تتحطم الخلية في عمليات استخلاص البلاستيدات الخضراء التي تستعمل في التجارب المعملية.

وفي عام ١٩٤٨ اكتشف العالم الروسي كراسنوفسكي تفاعلاً كيميائياً لمحلول الكلوروفيل وأجريت تجربة أخرى يطلق عليها "تفاعل كراسنوفسكي" قد يكون له علاقة بالنهج الذي يتبعه الكلوروفيل المعرض للضوء في توسطه لنقل الإيدروجين من الماء إلى ثاني أكسيد الكربون في هذا التفاعل عرض كراسنوفسكي محلول الكلوروفيل في البيريدين للضوء بعد إضافة حمض الأسقربيك (فيتامين ج). والمعروف عن حمض الأسقربيك أنه عامل مختزل متوسط الفاعلية. ونتج عن هذا التفاعل تأكسد الحمض، واختزال الكلوروفيل حتى أصبح لونه وردياً.

ولما أبعد الضوء عاد التفاعل في طريقه العكسي، وتزداد سرعة النكوص بإضافة عامل مؤكسد كالهواء أو الكينون وتكون النتيجة النهائية هي أكسدة حمض الأسقربيك واختزال العامل المؤكسد (الهواء أو الكينون) في هذه الحالة يقوم الكلوروفيل بوظيفة عامل مساعد كما هي حالة في عملية التمثيل الضوئي. ومن الطبيعي أن أخذ ذرات الأيدروجين من حمض الأسقربيك أسهل بكثير من أخذها من الماء. من ذلك يتضح أن علاقة تفاعل كراسنوفسكي يتفاعل هيل مثل علاقة الأخير بعملية التمثيل الضوئي، فتفاعل هيل يؤثر على الماء (عامل مختزل) فيأخذ منه ذرات الإيدروجين شأنه في ذلك شأن عملية التمثيل الضوئي، ولكنه يحتاج إلى عامل مؤكسد أكثر نشاطاً وتقبلاً للأيدروجين من ثاني أكسيد الكربون. أما تفاعل كراسنوفسكي فيعتمد على نفس العوامل المؤكسدة التي

يستعملها تفاعل هيل (مثل الكينون) ويحتاج أيضاً إلى عوامل مختزلة أكثر تساهلاً في إعطاء الأيدروجين من الماء.

في مجموعة من الدراسات الأخرى في عام ١٩٣٧، ظهر أن في الإمكان أكسدة الكلوروفيل بوساطة أملاح الحديديك، وتزداد درجة الأكسدة في وجود الضوء. وفي هذه التفاعلات تخترق كميات متواضعة من الطاقة الضوئية، على شكل طاقة كيميائية ويتضح من ذلك أن الكلوروفيل مادة ذات خصائص غريبة إذ يمكن أن تقوم بدوري العامل المختزل والعامل المؤكسد، وربما تقوم بأحد الدورين أو كليهما في عملية التمثيل الضوئي. والأمر يحتاج إلى مزيد من التجارب في الكيمياء الضوئية لمستحضرات الكلوروفيل، سواء كانت على هيئة محاليل أو تحضيرات غروية أو جزيئات بلورية، وطبقات جزيئية يتمثل فيها الشكل النظري لانتظام جزيئات الكلوروفيل في الخلية الحية.

والعمل الكيميائي الأساسي في عملية التمثيل الضوئي هو اختزال ثاني أكسيد الكربون وتحويله إلى مادة كربوايدراتية، ومنها تشتق كافة المواد العضوية. وقد ذكرنا فيما سبق بعض التجارب التي تناولت امتصاص الطاقة الضوئية وتحرير الأكسجين من الماء، وتوجيه الإيدروجين نحو مواد تتقبله بدرجات متفاوتة. هذه المواد الأخيرة هي الجسر الذي يصل بين الوجه الأول لعملية التمثيل الضوئي وهو المتميز بتجميع الطاقة، والوجه الثاني وهو المتميز بأنه العملية الكيميائية والفكرة الشائعة حالياً بين الإخصائيين هي وجود مادة تتقبل الأيدروجين مرتبطة بحبيبات الكلوروفيل. وتتولى هذه المادة استخلاص وقبول الإيدروجين من الماء في وجود الضوء، ثم توجه هذا الأيدروجين، دون الحاجة إلى الضوء، نحو المادة التي تؤدي وظيفة العامل المؤكسد سواء كانت هذه المادة هي ثاني أكسيد الكربون أو الكينون أو نيوكليوتيد البيريدين. فإذا لم يجد حامل

الأيدروجين ما يتقبله منه فإنه يفقد نشاطه في مدى ثوان بدخوله في تفاعلات عكسية ويعتقد بعض الباحثين أن الخلية الحية تستطيع الاحتفاظ بقدرتها على الاختزال لدقائق عديدة بعد إطفاء النور.

السؤال التالي هو: كيف يؤثر حامل الأيدروجين على ثاني أكسيد الكربون فيحوله إلى مادة كربوايدراتية؟ عاون على إجابة هذا السؤال استعمال النظائر المشعة في هذه البحوث. فإذا أدخلنا إلى الخلية ثاني أكسيد الكربون المشع، ثم تركنا العملية الضوئية لثوان قليلة، ثم قتلنا الخلية وحللنا محتوياتها فإن ذلك يكشف لنا بعض الغوامض. أظهرت مثل هذه التجارب أن أول مركب من نواتج عملية التمثيل الضوئي يحوي كربون مشع هو الفسفوجليسريك، وهو نتيجة اتحاد حمض الفسفوريك مع حمض الجليسريك. التركيب الكيميائي لحمض الجليسريك هو ك٣ يد٦ أ٤، أي أنه يمثل منتصف الطريق بين ثاني أكسيد الكربون (ك أ٢) والجلوكوز (ك٣ يد١٢ أ٦)، وذلك بالنسبة لعدد ذرات الكربون. أما بالنسبة لمستوى الاختزال فهو يمثل أكثر من منتصف الطريق، فالنسبة بين الإيدروجين إلى الأكسجين تساوي صفر في ثاني أكسيد الكربون، وتساوي $\frac{1}{2}$ ١: ١ في حمض الجلسريك، وتساوي ٢: ١ في الجلوكوز. ومن هذا يتضح أن هذا الحمض يمثل مرحلة متوسطة في الطريق من ثاني أكسيد الكربون إلى السكريات. وربما بدأت العملية بدخول ثاني أكسيد الكربون إلى بعض المركبات العضوية الموجودة في الخلية، ثم يتعرض هذا الناتج الجديد للاختزال في ضوء الشمس وينتج عنه حمض الجلسريك. ويتلو ذلك تفاعلات ينتج عنها تحول حمض الجلسريك إلى الجوكوز وانطلاق المركب العضوي الذي دخل إليه ثاني أكسيد الكربون، ومع انطلاقه يصبح حراً ليكرر الدورة من جديد. هذا التصوير لعملية التمثيل الضوئي يتابع أطراد زيادة سلسلة الكربون، ثم اختزالها

إلى مادة كربوايدراتية، وهو تصوير طبيعي ومقبول من جانب علماء الكيمياء الحيوية. فهم يعللون مراحل عمليات التنفس تعليلاً مشابهاً. على أساس أنها عكس عملية التمثيل الضوئي، لأنها تتضمن تحلل مركبات عضوية كالجلوكوز وتأكسدها إلى الماء وثاني أكسيد الكربون.

وقد أظهرت الدراسات الحديثة التي اعتمدت على استعمال النظائر المشعة، أن جزيء ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يدخل إلى جزيء ثنائي فسفات البنتوز، والبنتوز هو نوع من الكربوايدرات مثل السكر، غير أنه يختلف باحتواء الجزيء على خمس ذرات من الكربون، أما السكاكر العادية كالجلوكوز واللاكتوز، فيحتوي الجزيء منها على ست ذرات من الكربون. بإضافة ثاني أكسيد الكربون إلى البنتوز في وجود الماء يمكن تكوين جزيئين من حمض الجلسريك:

ك أ٢+ ك٥ يد١٠ أ٥+ يد٢ أ– ٢ك٣ يد٦ أ٤

وقد ثبت أن الخلية النباتية الخضراء تحوي أنزيماً يساعد هذا التفاعل إذا أعيد في أنبوبة الاختبار. والمراحل التي يمر فيها الكربون في عملية التمثيل الضوئي، تبدأ بتكوين حمض الجلسريك من تفاعل ثاني أكسيد الكربون والبنتوز، ثم يأتي دور حامل الإيدروجين الذي يتكون في الضوء، فيعمل على سحب ذرة أوكسجين من حمض الجلسريك وينتج عن ذلك مادة ثلاثية الكربون، أي سكر ذو ذرات ثلاث من الكربون: ك٣ يد٦ أ٣ ويمكن التعبير عن هذا التفاعل بالمعادلة:

ك٣ يد٦ أ٤+ ٢يد– ك٣ يد٦ أ٣+ يد٢ أ

والخطوة الختامية هي تحول بعض المادة الثلاثية إلى سكريات سداسية، وتحول البعض الآخر إلى بنتوز يتلقى ثاني أكسيد الكربون ويعيد الدورة من جديد.

وقد أوضحت الدراسات التي تلت هذا التصوير لآلية المراحل المتتابعة في عملية التمثيل الضوئي، الحاجة إلى تعديله. فحمض الجلسريك لا يقوم بدور رئيسي في الخطوات المتتابعة لعملية التمثيل الضوئي. بل يقوم بدوره مركب آخر تعبر عنه المعادلة ك٦ يد١٠ أ٧، ويمكن أن يتحلل هذا المركب إلى جزيئين من حمض الجلسريك. ويحدث هذا فعلاً في الخلية عندما تقتل في الكحول المغلي. واختزال هذا الجزيء (ك٦ يد١٠ أ٧) بأربع ذرات إيدروجين (من حامل الإيدروجين المتكون في الضوء) ينتج سكر سداسي وماء. ومن هنا يمكن أيضاً أن يتحول التفاعل إلى تكوين مادة البنتوز التي تتلقى ثاني أكسيد الكربون لتبدأ من جديد دورة التفاعل من مراحلها الأولى.

ويظهر أن هذا التعديل الأخير هو الأكثر قبولاً في الوقت الحاضر، وفيه تصوير لمراحل تحول ثاني أكسيد الكربون إلى سكاكر سداسية بمعاونة عامل اختزال (حامل إيدروجين) يتكون في الضوء من الماء. وربما تمخض المستقبل عن نظريات جديدة لشرح ميكانيكية العملية. فمقارنة التمثيل الضوئي بالتنفس، تبين أن عملية التنفس تسلك طرقاً عديدة مختلفة، وكذلك عملية التمثيل الضوئي قد لا تتخذ لها طريقاً واحداً في كل الحالات وفي كل الكائنات. ذلك لأن مراحل الخطوات البناءة في التمثيل الضوئي قد تتفرع وتعود إلى الاتصال على المستويات المتتابعة، وربما تتقابل مع بعض الخطوات الهادمة في عملية التنفس. وخلال مواضع التقابل قد تسري بعض النواتج المتوسطة لعمليات التنفس صاعدة إلى مجالات البناء في عملية التمثيل، كما أن بعض النواتج الوسطية لعملية التمثيل قد تسري هابطة إلى مجالات عمليات التنفس.

الفصل الثاني

ألوان الخريف

يشعر سكان المناطق الشمالية الشرقية من أمريكا بأن فصل الصيف قصير، ولكنه ينتهي في مهرجان رائع تلبس فيه الأشجار حللها الزاهية كأنها تودعه، فالتامول في لونه الذهبي الهادئ، والاسفندان في لونه القرمزي الناري، والبلوط الأحمر والسماق في ألوانها الحمراء، كلها ذات أوراق غنية بالألوان المختلفة مما يجعلها تشبه إلى حد كبير زهور الصيف. وهذا تشبيه واقعي لأن كثيراً من الأصباغ التي تلون أوراق الخريف هي نفسها التي تكون زهور الصيف.

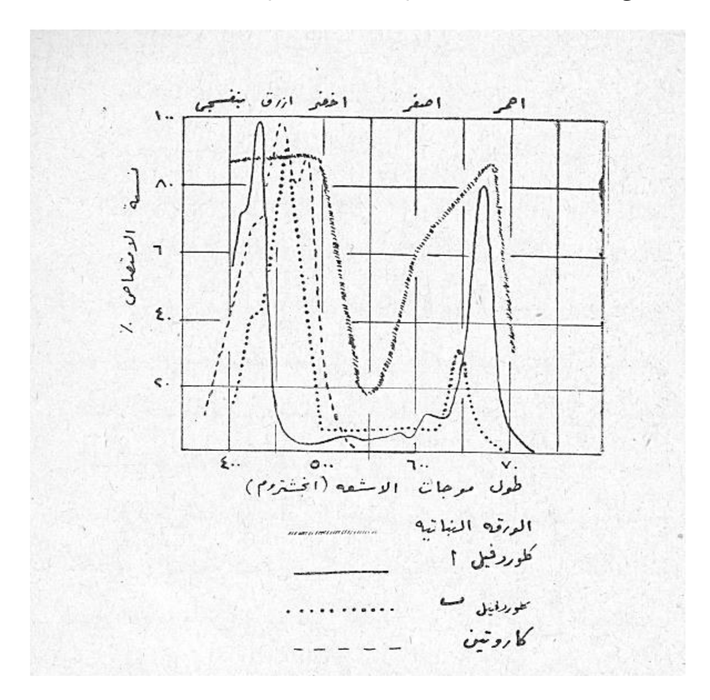
عندما يأتي الخريف يتغير لون أوراق الشجر، فالأصباغ الأصلية تحول ألوانها أو تقصر، وتتكون أصباغ جديدة وأبسط التحولات في اللون هي الاصفرار، ويحدث في التامول والحرر والغرغار وأشجار كثيرة غيرها، بل وفي أغلب نباتات الحدائق إذا قاربت حياتها إلى النهاية. والأصباغ الصفراء التي تظهر لأول مرة في الخريف، هي في الواقع موجودة قبل ذلك، بل موجودة على الدوام، ولكنها كانت غير ظاهرة نتيجة لتغلب لون المادة الخضراء المسماة بالكلوروفيل.

وليتسنى لنا إدراك هذه التغيرات في اللون، يحسن أن نتفهم كيف يظهر اللون. فمن المعلوم أن الضوء الأبيض يتضمن أشعة الطيف التي تتراوح أطوالي موجاتها بين ٤٠٠ و٧١٠ أنجشتروم (جزء من المليون من المليمتر). فإذا سقط هذا الضوء الأبيض على سطح يحتوي الأصباغ فإنها تمتص بعض الأشعة ذات

الأطوال الخاصة دون غيرها. ولو فرضنا أن نوعاً من الأصباغ يمتص أشعة الطيف القصيرة (التي تظهر للعين بنفسجية اللون) فالواقع أنه يمتص أغلب الأشعة البنفسجية وقليل من الأشعة الزرقاء، ويبقى من الضوء الأبيض خليط من الأشعة الحمراء والصفراء والخضراء وقليل من الأشعة الزرقاء. هذا الخليط يرتد إلى البصر ويبدو للعين أصفر اللون. أي أن:

اللون الأبيض- اللون البنفسجي= اللون الأصفر.

ولكل صبغة طيف امتصاص خاص، يعبر عنه عادة بمنحنى بياني يظهر مدى امتصاص الصبغة لأشعة الضوء ذات الأطوال المختلفة.



(شكل ٦)

رسم بياني يوضح طيف الامتصاص في الورقة النباتية والأصباغ الرئيسية فيها.

ويبين الرسم (شكل ٦) طيف الامتصاص لورقة نباتية كاملة (ورقة

اسفناخ)، ولبعض الأصباغ التي توجد في أغلب الأوراق وهي الصبغة الصفراء بالكاروتين، ونوعان من الأصباغ الخضراء تسمى بالكلوروفيل أ، والكلوروفيل ب. ولما كانت أصباغ الكلوروفيل تمتص الأشعة الزرقاء والحمراء، ولا تكاد تمتص شيئاً من الأشعة الخضراء، فإن العين الناظرة إلى الورقة ترى أساساً اللون الأخضر مع قليل من اللون الأصفر والأقل من الأزرق والبنفسجي. كما يدل الرسم على أن الصبغة الصفراء، وهي الكاروتين، تمتص أساساً اللون الأزرق والبنفسجي، وهي أضواء تمتصها أيضاً أصباغ الكلوروفيل، ولذلك فإن الصبغة الصفراء لا يكاد يظهر لها أثر في لون الورقة، أي أن العين لا تكاد تشعر بوجودها.

ويبين الرسم أيضاً أن طيف امتصاص الورقة هو مجموعة أطياف امتصاص الأصباغ المختلفة الموجودة بها، والأشعة التي لا تمتصها الورقة فترتد إلى أبصارنا هي الأشعة الخضراء.

أما في الخريف، فإن ألوان أصباغ الكلوروفيل تقصر بالتدريج ويبدأ ظهور الصبغة الصفراء. أما أسباب تغير أصباغ الكلوروفيل وقصور ألوانها فما تزال غوامض تحتاج إلى مزيد من الدراسات والاستجلاء. على أن المفهوم أن هذا التغير يصاحب الشيخوخة، ويرجع إلى تفتت المواد البروتينية في خلايا الورقة، ومادة الكلوروفيل مرتبطة ببعض هذه البروتينات ولذلك فسرعان ما تفقد تماسكها.

على أن روعة ألوان الخريف تعتمد على الألوان الحمراء، ومن الواضح أن الأصباغ الحمراء تظهر في مستهل الخريف، إذ لا يكون لها وجود خلال الصيف. وربما يلاحظ أن بعض الأوراق الصبية التي تتكون في الربيع تحوي بعض الأصباغ الحمراء، ولكن هذه الأصباغ سرعان ما تختفي عندما تنضج الورقة. وهناك نباتات قليلة مثل بعض أصناف الذرة والزان تظل أوراقها حمراء طول موسم النمو. والألوان الحمراء التي تتكون في الخريف تتسع مجموعة من

الأصباغ يختلف عن ألوان الصيف، وتشبه الأصباغ التي تعطي الأزهار ألوانها وتسمى مجموعة أصباغ الأنثوسيانين وتشمل على أصباغ زرقاء وأرجوانية وحمراء. والأمر المدهش أن لون هذه الأصباغ كما نراها في الأزهار قد يختلف عن لون الصبغة في حالتها النقية. فالوردة ذات اللون الأحمر القاني تحوي نفس الصبغة (سيانين) التي تحويها أزهار العنبر الأزرق وسبب ذلك أن مادة الصبغة تتأثر بالمواد الأخرى التي تحويها الخلية النباتية فيتغير نظامها الكيميائي ومن ثم يتغير لونها.

وتختلف أصباغ الأنثوسيانين، عن الأصباغ الخضراء والصفراء في أمرين أساسيين. الأول أنها أصباغ قابلة للذوبان في الماء، بينما لا يقبل الكلوروفيل ولا الكاروتين وأضرابهما الذوبان إلا في الزيوت والمذيبات العضوية. والأمر الثاني هو أنه نتيجة لقابلية أصباغ الأنثوسيانين للذوبان في الماء فإنها توجد ذائبة في العصير الخلوي، بينما توجد الأصباغ الخضراء والصفراء في الكلورو بلاستيدات الموجودة في خلايا الورقة. ولم تتناول الدراسات والبحوث بالاستفاضة والتعمق نشأة أصباغ الأنثوسيانين وتكوينها في النبات، ولذلك فما زالت معارفنا عنها محدودة. ورغم اعتماد الإنسان في حياته على المنتجات النباتية، فإن الجهود العلمية التي تبذل لدراسة طرق تكون هذه المنتجات ما تزال محدودة. والواقع أننا نعرف القليل عن المواد الرئيسية كالسكريات والنشاء والبروتينات. أما المواد الدقيقة كالعقاقير والأصباغ والفيتامينات والعطور وغيرها فمعارفنا عن طرق تكوينها تكاد تكون معدومة. ومن الغريب أن تفاصيل التركيب الكيميائي لأغلب هذه المواد قد تمت معرفته، ولكن طرق تكوينها في النبات مازال مبهماً.

وقد لقيت مواد الأنثوسيانين اهتماماً مستفيضاً من علماء الكيمياء العضوية، شأنها في ذلك شأن أغلب المركبات النباتية. وتم التعرف على تركيبها

الكيميائي بل أمكن تخليق الكثير منها صناعياً ولكن التعرف على كيفية تكوينها في الخلية النباتية ما زال بعيداً.

إن دراسة ميكانيكية تكوين المواد يقتضي اختيار الأجزاء النباتية المناسبة، فالأزهار وأوراق الخريف قصيرة العمر، وأفضل نسيج نباتي هو ما يمكن تربيته في مزارع لمدد طويلة، وينتج مادة الأنثوسيانين طول حياته. وقد أجريت دراسات على بعض البادرات الحمراء كبادرات قمح البقر، والكرنب الأحمر، وبعض النباتات التي تحمر أوراقها في الصيف. كما تناولت هذه الدراسات نبات عدس الماء ولهذا النبات ميزة إمكان زراعته في محاليل غذائية، وقد سبق الكلام عن وصفه وعن تكاثره عند الكلام عن شكل الورقة في أحد الفصول السابقة. وتكون بعض نباتات عدس الماء على الأسطح السفلية من أجسامها الطافية على سطح الماء، أصباغاً أرجوانية اللون من مجموعة الأنثوسيانين. وفي الإمكان قياس تركيز هذه الأصباغ. ومن التجارب التي أجراها مؤلف هذا الفصل أنه زرع نباتات عدس الماء على أوساط غذائية معينة، في حجرات ذات ضوء صناعي حيث يمكن التحكم في شدة الضوء ودرجات الحرارة، والتعرف على ظروف تكون مواد الأنثوسيانين في أجسام نباتات عدس الماء يفتح الطريق لفهم طبيعة ألوان الخريف؛ فاتضح أولاً أن الضوء عامل مهم، وكلما ازدادت شدته زاد تركيز الأصباغ، كما اتضح ثانياً أن للحرارة أثراً فعالاً، إذ تقلل الحرارة المرتفعة من تكوين اللون. ونذكر في هذا الصدد أن الجو الصافي البارد في الخريف في نيوإنجلند تصاحبه الألوان الزاهية لأوراق الشجر، بينما دفء الجو وتبلده بالغيوم في الخريف في إنجلترا يجعل لون الأوراق أقتم، ويغلب عليها الصفرة والبنية، ولا يتكون إلا القليل من أصباغ الأنثوسيانين. ولهذا الفرق أثره على مشاعر الناس بالنسبة للخريف، كما يتضح من أقوال الشعراء الإنجليز

حيث يعبرون عن الخريف بأنه فصل الأوراق الميتة المتساقطة التي تتقاذفها الرياح.

وقد دلت الدراسات العملية أيضاً على أهمية السكريات في إنتاج هذه الأصباغ. وعرف علماء النبات في أواخر القرن الماضي أن أغلب النباتات المائية يحمر لونها إذا هي طفت على محلول سكري وتعرضت لضوء الشمس. كما أن التجارب الحديثة أظهرت أن نباتات عدس الماء تنتج مزيداً من أصباغ الأنثوسيانين إذا هي نمت طافية على محلول سكري، وقد يتكون النزر اليسير من الأنثوسيانين من مادة السكر في الظلام، ولكن الضوء يزيد من سرعة هذا التصبغ. أي أن الضوء لازم لعملية التمثيل الضوئي، كما هو لازم أيضاً لعملية أخرى تنتج عنها مادة الأنثوسيانين من السكر فكلا الضوء والسكر هام بالنسبة لتكوين هذه الأصباغ.

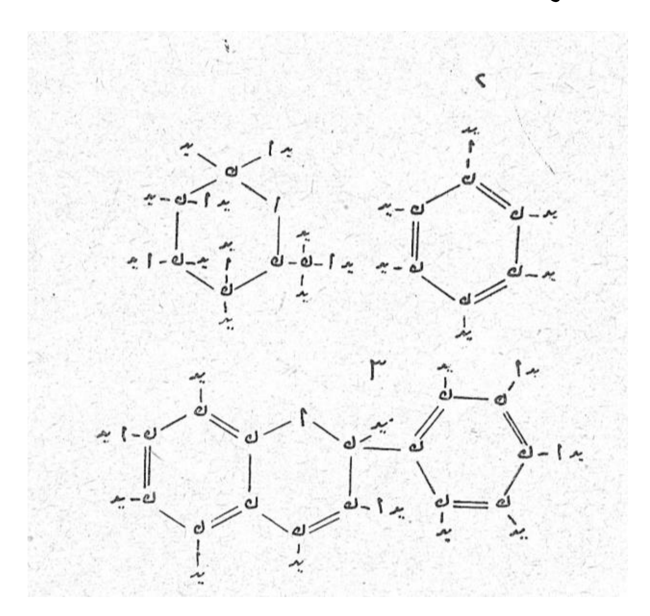
المعروف أن السكر عندما يتأكسد أو يتخمر في الخلية النباتية يحتاج لوجود مادة الفوسفات، لأن السكر لايتحلل إلا بعد أن يتحد بمادة الفوسفات. ولما درست علاقة الفوسفات بتكوين مادة الأنثوسيانين ظهر أن تقليل الفوسفات الكثير يزيد من تكوين هذه الأصباغ في عدس الماء. ويدل ذلك على أن مادة الأنثوسيانين تتكون نتيجة لتراكم السكر الذي يقل تحلله من قلة الفوسفات. والتفاعلات التي تؤدي إلى تكوين الأنثوسيانين من السكر تختلف تماماً عن تلك التي تؤدي إلى تحلل السكر في عمليات التنفس حيث يقوم الفوسفات بدور هام. ويبدو أيضاً أن لعنصر النحاس أثراً هاماً، فقد شوهد أنه لو أضيف للمحلول الغذائي مادة لها القدرة على التفاعل مع الموجود في النحاس المحلول بحيث لا يستفيد منه النبات، فإن مادة الأنثوسيانين لا تتكون. وتأثير الفوسفات يذكرنا بما يلاحظه المشتغلون بالبحوث الزراعية من

ظهور اللون الأحمر أو الأرجواني في أوراق نباتات المحاصيل كدليل على نقص مادة الفوسفات في التربة، أي أن ظهور اللون الأحمر يؤخذ كمظهر من مظاهر الجوع ونقص الأغذية. ونذكر أيضاً في هذا الصدد ما أثبته العالم الفرنسي راءول كومبس منذ عدة سنوات، من أن الكثير من المواد الغذائية، ومنها الفوسفات، تنتقل من الأوراق إلى السوق عندما يحل الخريف، وبذلك تقل مادة الفوسفات في خلايا الأوراق.

والخلاصة التي يمكن الوصول إليها من كل ما سبق. أن هناك تفاعلاً خاصاً يمكن ضمن عمليات الأيض السكري في النبات، تتحول فيه السكريات بمعاونة الضوء إلى مواد الأنثوسيانين، وربما أيضاً إلى غيرها من المركبات النباتية الخاصة. ولكن التفسير الكامل لألوان الخريف يتضمن أربعة عوامل على الأقل (١) الشيخوخة الطبيعية للورقة والتي ينتج عنها انتقال مركبات الفوسفات والنتروجين من الورقة إلى الساق، (٢) الاستمرار في تكوين السكريات مادام الجو صحواً والشمس ساطعة، (٣) وجود التفاعل الكيميائي الخاص بتحول السكر إلى الصبغ الأحمر وهو يختلف من نبات إلى آخر، (٤) حرارة الجو، فربما كان لدرجات حرارة ليالي الخريف الباردة أثر في تحويل النشاء إلى سكر، وبذلك يزداد تركيزه في الخلايا.

إن فهمنا لطريقة تكوين ألوان الخريف، قد يفتح الآفاق لفهم مشاكل أعمق في الكيمياء العضوية وفي البيولوجيا. فالسكريات كالجلوكوز تتبع طائفة من المركبات العضوية تسمى المركبات الأليفاتية تنتظم فيها ذرات الكربون على نسق سلسلة. وفي جزيء الجلوكوز توجد سلسلة تنتظم ست ذرات من الكربون تتصل الذرة الأولى بالذرة الخامسة عبر ذرة أكسجين بينما تتخذ الذرة السادسة موضعاً جانبياً. ولكن مركبات الأنثوسيانين تتبع طائفة أخرى من المواد العضوية

تسمى المركبات العطرية، وفيها تنتظم ذرات الكربون الست في حلقة بنزينية وتتخذ ذرات الأكسجين- إن وجدت- مواضع جانبية من الحلقة ومادة الفينول تعتبر نموذجاً للمركبات العطرية، وتتضمن جميع مواد الأنثوسيانين نفس نظام مادة الفينول. والصبغة الموجودة في نبات عدس الماء، بل وفي أغلب الأوراق الحمراء والأرجوانية، هي مركب من مشتقات الفينول يسمى السيانيدين مع بعض السكاكر.



(شكل ٧)

شكل توضيحي للتركيب الكيميائي لسكر بسيط (١) يبين نظام المركب الأليفاتي، والتركيب الكيميائي للفينول (٢) يبين نظام المركب العطري وبه حلقة الكربون السداسية، والتركيب الكيميائي لصبغة السيانين التي تتكون في أوراق الخريف (٣) وبها حلقتان سداسيتان (عطرية).لأ الششالال

أما كيف تتكون المواد العطرية في الطبيعة، فأمر مازال يكتنفه الغموض، ويحتاج للمزيد من الدراسة، فالنتائج الأولية لعملية التمثيل الضوئي، وهي

العملية الأساسية التي ينتج عنها- بطريق مباشر أو غير مباشر- الغذاء والوقود والكساء والعقاقير والفيتامينات وغيرها هي بالتأكيد مركبات أليفاتية كالسكريات أو الأحماض العضوية المرتبطة بها. ويتحتم أن نفترض أن المركبات العطرية تنشأ من المركبات الأليفاتية نتيجة لتفاعلات ثانوية. فلو بدأت تلك التفاعلات من سكر لاستلزم الأمر إعادة تنظيم التركيب الأليفاتي لتدخل ذرات الكربون الست في الحلقة، وتكون النتيجة مركباً له حلقة بنزينية بشأن المركبات العطرية. وهذا تغيير أساسي لم يتسن إجراء شبيه له في التجارب المعملية ولكن يبدو أنه تغيير يحدث في يسر داخل الخلية النباتية، ومن المحتمل أن هذا التغير يتضمن عمليات متعددة من تفتيت، وإعادة تركيب لجزئيات السكر. والتركيب الكيميائي لصبغة السيانيدين يتضمن حلقتي بنزين يربطهما جسر مكون من ثلاث ذرات من الكربون. ولما كان انقسام جزيء السكر سداسي الكربون ينتج نصفين بكل منهما ثلاث ذرات من الكربون، فمن المعقول أن نظن أن جسر الذرات الثلاث يرجع إلى أصل سكري، ولو أن هذا الظن لم يتيسر التحقق منه بعد. إلا أننا نلاحظ أن مواد الأنثوسيانين وغيرها من المركبات العطرية توجد عادة داخل النبات في تركيب مشترك مع السكريات، مما يدل على أنها من أصل مشترك.

ومن المركبات العطرية التي توجد في الطبيعة مواد البنزين والنفثالين ولجنين الخشب ومادة الكينول وبعض الفيتامينات والكثير من العقاقير كالمورفين والاستركنين والكينين وأغلب الأصباغ الطبيعية، ويضاف إليها أيضاً أصباغ الأنثوسيانين في الأزهار وأوراق الخريف. وأصل كل هذه المواد هو البنزين والفينول والنفثالين. ويستخرج هذه المواد من قطران الفحم وهو نتاج نباتات قديمة ماتت من زمن بعيد. وكل هذه النواتج والمشتقات هي أساس فرع جديد

من فروع العلم هو الكيمياء التحليقية. وليس من المبالغة أن نقول إن البنزين هو مفتاح المدنية الحديثة، ودراسة طرق تكوين مواد الأنثوسيانين قد تزيد معارفنا عن طرق تكوين مادة البنزين في الطبيعة أي أن دراسة ألوان الخريف، وهي دراسة يخيل أنها قليلة الأهمية في علوم الحياة، قد تقودنا إلى التعرف على أساسيات نشاط الكائن الحي، وعندما يتضح إدراكنا لحقائق التلوين فقد يساعدنا ذلك على تفهم الكثير من أسرار الحياة.

الجزء الخامس

ديناميكا الحياة النباتية

الفصل الأول – الحركة في النبات

الفصل الثاني– صعود الماء في النبات

تأليف. فيكتور أ جريلاك

الفصل الأول

الحركة في النبات

عندما نتساءل عن الفرق بين الحيوان والنبات، فإن أول ما يتبادر إلى أذهاننا هو أن الحيوانات كائنات متحركة، والنباتات كائنات ساكنة. والواقع أن هذا غير صحيح؛ فبعض الحيوانات كالمرجان والإسفنج وقثاء البحر تبقى طوال الشطر الأكبر من حياتها مثبتة في أماكنها، بينما الكثير من النباتات قادر على الحركة والانتقال من مكان إلى آخر، فبعض أنواع العفن المخاطي تنزلق على جذوع الأشجار الخاوية، بواسطة أطراف كاذبة، فتشبه في ذلك انزلاق الأميبا. وتسبح أنواع كثيرة من الدياتومات بقوة اندفاعها الذاتي، حتى لتبدو تحت الميكروسكوب وهي تشق طريقها كأنها السفن الصغيرة. والفكرة السائدة عن هذه الكائنات النباتية أنها تتحرك بقوة سريان مادة البروتوبلازم خلال فتحة جانبية في جسمها، وهي في ذلك أشبه بالبواخر القديمة ذات المحركات الجانبية. على أن أغلب النباتات السابحة تتحرك بواسطة أعضاء سوطية الشكل، تسمى أسواطاً إذا كان عددها قليلاً، وتسمى أهداباً إذا كان عددها كثيراً. وهذه المجموعة من الكائنات النباتية تشمل بعض أنواع الطحالب والبكتيريا، والجراثيم السابحة لكثير من الطحالب والفطر وبعض النباتات غير الزهرية. والحركة السوطية أسرع عادة من الحركة بسريان البروتوبلازم حتى إن سرعة بعض الكائنات السوطية قد تبلغ ثلاثة أقدام في الساعة، وهي سرعة هائلة جداً بالنسبة لحجم هذه الكائنات الدقيقة. فالرجل الذي يجري بسرعة مائة ياردة في أقل من عشر ثوان، يقطع مسافة تعادل طوله سبع مرات في الثانية، والطائرة

النفاثة التي تطير بسرعة ٦٥٠ ميلاً في الساعة تقطع مسافة تعادل طولها ٢٥ مرة في الثانية والجراثيم السابحة لبعض الفطر تقطع مسافة قدر طولها بسرعة تعادل سرعة الطائرة النفاثة. أما البكتريا السوطية فتتحرك بسرعة تعادل طولها ٣٢ مرة في الثانية، والجرثومة السابحة لنوع من فطرة الأكتينوبلانس تتحرك بسرعة تعادل طولها ٩٩ مرة في الثانية، ولو كان للإنسان أن يجري بمثل هذه السرعة بالنسبة لحجمه لبلغت سرعته الفعلية ٤٠٠ ميل في الساعة.

وقد أصبحت أسواط هذه الكائنات موضوع دراسات مستفيضة وخاصة بعد اختراع الميكروسكوب الإلكتروني وقد ظهر أن أسواط الكائنات النباتية والحيوانية والأسواط الذيلية للحيوانات المنوية تتشابه جميعاً في احتواء كل منها على أحد عشر خيطاً، منها خيطان وسطيان رفيعان، وتسعة خيوط خارجية غليظة. والحركات السوطية السريعة تسببها انقباضات توافقية تتتابع في السوط بادئة من أحد الجوانب ثم في الجانب الآخر، وتحدث هذه الحركات نتيجة لانقباضات في البروتينات التي تكون خيوط السوط، وهي في ذلك تشبه ما يحدث لبروتينات العضلات.

على أننا لم نقصد في هذا الفصل أن نتحدث عن الحركة الانتقالية في الكائنات الدقيقة، إنما قصدنا تناول الحركات التي تمارسها الأعضاء المختلفة من النباتات العادية. وهي حركات تتسم بالبطء ويمكن تصنيفها إلى ثلاثة أنواع رئيسية:

تحركات تمايلية Nutations

تحركات تفاوتية Nasties

تحركات انتحائية Tropisms

أما التحركات التمايلية، فهي الالتفاف اللولبي للساق في أثناء نموه على نحو ما تفعل المتسلقات كالعنب. فالساق تنمو، ويحدث ذلك بأن ينمو جانبي قمة الساق بسرعة مختلفة، فالنمو أسرع في أحد الجانبين لفترة ثم يصبح أسرع في الجانب الآخر لفترة تالية ثم أسرع في الجانب الأول وهكذا، ونتيجة لهذا الاختلاف في سرعة نمو جانبي قمة الساق يلتف الساق المتسلق حول عماده. وهذه الحركات تتأثر بعوامل داخلية في جسم النبات دون المؤثرات الخارجية.

أما التحركات التفاوتية ففيها طرافة خاصة، ومثالها هو تحركات أجزاء الزهرة وهي تتفتح عن أكمامها. تنتج هذه التحركات عن استجابات متفاوتة للأجزاء المختلفة من العضو النباتي إذا تعرضت لمؤثر خارجي معين. فإذا وضع برعم زهري في حجرة دافئة، فإن ارتفاع درجة الحرارة يسبب نمو السطح الداخلي للبتلات بسرعة تفوق سرعة نمو السطح الخارجي، وينتج عن ذلك تفتح البتلات. وقد يسبب انخفاض درجة الحرارة انعكاس التحرك فتقفل الزهرة، كما يحدث في زهور الزعفران. وارتخاء أوراق نبات الأذينة ليلاً وانتصابها نهاراً، هي حركات تفاوتية استجابة للضوء. كذلك أوراق الزربيح التي تتخذ وضعاً أفقياً في أثناء النهار ووضعاً رأسياً في أثناء الليل، وزهور الحمضيض التي تقفل ليلاً وتتفتح نهاراً، أما زهور ورد المسا فتتفتح ليلاً وتقفل نهاراً.

وتتأثر أوراق النباتات إذا عوملت بالهورمونات النباتية أو إذا تعرضت لغاز الأثيلين وأضرابه فتنحني إلى أسفل. وقد ظهر أن وجود القليل من غاز الأثيلين بما لا يجاوز جزءاً من عشرة ملايين جزء من الهواء، يؤثر على أوراق الطماطم فتنحني إلى أسفل؛ وبذلك يمكن استعمال نبات الطماطم للكشف عن وجود هذا الغاز إذا تسرب من الأنابيب.

أما التحركات الانتحائية فهي الانحناء استجابة لمؤثر خارجي. فنحن نعلم

أن النبات الذي ينمو داخل الحجرة ينحني نحو مصدر الضوء جهة النافذة. والقول بأن هذا الانحناء أساسه البحث عن الضوء، يعني أننا نضفي على النبات قوة الإدراك والغائية في الحركة، وهذا خطأ إنما الواقع أن انحناء النبات مرجعه إلى أن الضوء يقلل تركيز المواد المنشطة للنمو وهي الأكسين في جانب الساق المعرض للضوء، ولذلك تكون سرعة نمو الجانب الآخر (البعيد عن الضوء) أكثر. وهذا التفاوت في سرعة النمو في جانبي الساق يسبب انحناءه نحو مصدر الضوء. والواقع أن تأثير الضوء يقع على قمة الساق النامية وهي المكان الذي تتكون فيه مادة الأكسين دون الساق ذاتها.

ويتأثر النبات بالجاذبية، فينتحي الساق رأسياً في الهواء، وينتحي الجذر رأسياً نحو الأرض حتى إذا وضع نبات كامل في وضع أفقي، فإن طرف الساق ينحني إلى أعلا وطرف الجذر ينحني إلى أسفل. ويرجع ذلك أيضاً إلى تأثير الأكسين على النمو؛ فعندما يكون النبات في وضع أفقي، فإن الأكسين يسري نحو الجانب الأسفل ويسبب ذلك تنشيطاً زائداً في نمو الجانب الأسفل للساق فينحني طرفه إلى أعلى، ويسبب تركيز الأكسين تثبيطاً لنمو الخلايا الجذرية فينحني طرف الجذر إلى أسفل. ومرجع ذلك إلى أن تركيز الأكسين ينشط نمو خلايا الساق ويثبط نمو خلايا الجذر. تسمى هذه الظاهرة، ظاهرة الانتحاء الأرضي ولولا وجودها لأصبحت الزراعة عملية عسيرة جداً، فهي التي تتيح لنا بذر بذور النبات على أي جانب منها ونحن في اطمئنان إلى أن الساق ستنمو ضاربة إلى أعلى، وأن الجذر سينمو إلى أسفل ضارباً في الأرض. ولو أن النمو اتجه حسب وضع القمة النامية في البذرة لاستحال النمو السليم للمحاصيل، ولخرجت السوق من الأرض في اتجاهات مختلفة متفرقة بل ربما نمت السوق ضاربة في الأرض وارتفعت الجذور ضاربة في الهواء!

وتتميز بعض النباتات التي تتسلق بالالتفاف أو بالمحاليق بنوع من انتحاء اللمس. فإذا لمس المحلاق جسماً صلباً فإن خلايا الجهة البعيدة عن اللمس تستطيل بسرعة بينما تنكمش خلايا الجهة الملامسة لهذا الجسم وينتج عن هذا التفاف المحلاق حول الجسم على نحو حلزوني. والاستجابة لهذا التلامس قد تحدث في دقيقة واحدة أو نحو ذلك مما يدل على أن هناك تأثير للضغط بالإضافة إلى تأثير النمو.

ومن المعتقدات الشائعة أن الجذور تنتحي متأثرة بالماء، مما يسبب اتجاهها نحو الأرض الرطبة. ويبدو أنه اعتقاد خاطيء، إذ دلت الدراسات الحديثة على أن انتحاء جذور النباتات نحو الماء قاصر على بعض النباتات القليلة، أو لعله لا يوجد أصلاً. أما ما يشاهد من ازدحام التربة الرطبة بالنمو الجذري وخاصة قرب المصارف والقنوات، فتعليله أن الظروف تناسب نمو الجذور وفريعاتها فيزداد النمو الجذري.

وهناك نوع آخر من التحركات النباتية يرجع إلى انتفاخ الخلايا أو تقلصها، وتسمى تحركات الانبعاج. والعامل الأساسي هو الماء الذي يسري إلى الخلية أو منها فتنتفخ أو تنكمش. نضرب لذلك مثلاً بالثغور التي توجد في الأوراق. والثغر هو فتحة بين خليتين حارستين، فإذا امتلأت الخليتان بالماء انبعجتا وانفرجت المسافة بينهما فتتسع فتحة الثغر. أما إذا فقدت الخليتان بعض مائهما، فإنهما تنكمشان، وتضيق فتحة الثغر أو تغلق. وغالباً ما يغلق الثغر أثناء الليل؛ إذ تتوقف عملية التمثيل الضوئي، ويقل المحتوى السكري لعصير الخلايا الحارسة، فيقل تبعاً لذلك ضغطها الأسموزي مما يسبب سريان الماء منها إلى الخلايا المجاورة، فتنكمش الخلايا الحارسة وتضيق المسافة بينها. حتى إذا أشرق الصباح ونشطت عملية التمثيل الضوئي وزاد المحتوى السكري للخلايا

الحارسة، ارتفع تبعاً لذلك ضغطها الأسموزي وسرى إليها الماء من الخلايا المجاورة فتنتفخ وتتسع المسافة بينها ويفتح الثغر.

ومن أمثلة التحركات الانبعاجية ما تسمى بحركات النوم في نباتات العائلة البقولية، ونباتات الحمضيض وغيرها. وريقات هذه النباتات تنطوي أثناء الليل أو عندما يقل الماء بها. وسبب ذلك أن لكل وريقة انتفاخاً عند قاعدتها كالوسادة تستند إليه، فإذا قل ماؤه تدلت الوريقات منطوية. ومن التحركات الانبعاجية التي تحدث بسرعة، انطواء وريقات نبات المستحية الحساس إذا لمستها اليد، أو تعرضت للحرارة أو للتيار الكهربائي أو للأثير. أما في أزهار نبات عود الريح فإن الأسدية التي تحمل حبوب اللقاح تتأثر باللمس، فإذا لامستها حشرة سرعان ما تنحني السداة إلى الداخل ناثرة حبوب اللقاح على جسم الحشرة.

وأما في أزهار نبات التكومة الأمريكية ونبات الكتلبة وغيرها، فإن لمس الحشرات يسبب انضمام فصي الميسم- والطريف في هذا الشأن أن الفصوص تعود إلى التباعد بعد دقائق قليلة، إلا إذا تعلق بها بعض حبوب اللقاح في أثناء لمس الحشرة فعندئذ تبقى مضمومة.

ونذكر في هذا المجال أيضاً تحركات أوراق بعض النباتات آكلة الحشرات، مثل نبات خناق الذباب. ولورقة هذا النبات نوع من المفصل عند العرق الأوسط، فإذا سقطت الحشرة على السطح العلوي للورقة، انطوى نصفا الورقة. وقد دلت المشاهدات على أن الورقة تنصفق بعد لمستين متواليتين، وتتم عملية الانصفاق في حوالي نصف ثانية بعد اللمسة الثانية، فإذا صادت الورقة حشرة أو أي جسم يحتوي على بروتين فإنها تبقى مغلقة وتبدأ في عصر الفريسة بشد أطراف الورقة إلى بعضها البعض. ونبات حامول الماء مثل آخر للنباتات

التي تتغذى على الحشرات، ولهذه النباتات حوصلات كالمثانات الصغيرة كل منها مصيدة لها باب مفصلي ذو زناد حساس. فإذا لمست هذا الزناد حشرة سابحة أو حيوان مائي دقيق، تذبذب الباب مسبباً تياراً مائياً يحمل الفريسة إلى داخل المثانة، حتى إذا تم ذلك أغلق الباب، وتبقى الفريسة في المثانة حتى تموت.

وتفرز عليها العصارات الهاضمة، ثم تتهيأ المصيدة لصيد جديد. ومثال آخر للنبات آكلة الحشرات، نبات ورد الشمس ذو الأوراق الصغيرة اللزجة التي تغطيها شعيرات طويلة كالأطراف اللامسة. فإذا هبطت حشرة على سطح الورقة اللزج وتعثرت عليه، امتدت الشعيرات حول الفريسة حتى إذا لامستها بدأت الغدد الموجودة في رءوسها في إفراز الإنزيمات الهاضمة. وحركة هذه الشعيرات هي حركات نمو وليست حركات انبعاجية.

تناولنا في هذا الفصل التحركات النباتية، سواء الانتقالية أو التمايلية أو التفاوتية أو الانتحائية أو الانبعاجية أو غيرها، وكل هذا بالإضافة إلى الحركة التي لا تنقطع داخل جسم النبات، ومنها حركة الماء والغذاء، وانتقال المواد من الخلايا وإليها، والعدد الذي لا يحصى من التحولات والتفاعلات الحيكميائية. والنبات الذي يبدو للعين في الحقل ساكناً لا يكدح ولا يدور، هو في الواقع كائن ممتلىء بالنشاط الداخل.

الفصل الثاني

صعود الماء في النبات

المعروف عن شجرة الخشب الأحمر التي تنمو في كاليفورنيا أنها شجرة عظيمة الإرتفاع، ولكن شجرة التنوب الدوجلي التي تنمو في الشمال الغربي لأمريكا على ساحل المحيط الهادي، أكثر إرتفاعاً إذ يبلغ طول جذع بعضها ٤٠٠ قدم، وهذا يعني أن الماء يرتفع مسافة رأسية تقرب من ٤٥٠ قدماً (حوالي ١٥٠ متراً) ليصل من الجذور الضاربة في الأرض إلى الأوراق في أعلى الساق. فمن أين للشجرة القوة على رفع الماء إلى تلك المسافة؟ هذا السؤال حير علماء النبات طوال المائتي السنة الماضية، ومازال يحيط به إلى يومنا هذا بعض الغموض. وقد ظهرت في غضون هذه المدة الطويلة آراء لقيت القبول ثم أثبت التمحيص خطأها. على أن القسيس العالم الإنجليزي ستيفن هالز نشر في ١٧٢٧ كتاباً عن علم النبات تضمن بعض الأسس التي بني عليها علم وظائف الأعضاء النباتية، واستغرق وصف دراساته وتجاربه عن إرتفاع الماء في الساق الجزء الأكبر من كتابه، ومن المدهش حقاً أن دراسة هالز ونظرياته تتفق مع النظريات الحديثة في هذا الشأن، ذلك لأنه تناول العاملين الرئيسين في رفع الماء فدرس أحدهما في إستفاضة، وألمح إلى الآخر.

والسؤال الجوهري في هذا الموضوع هو: ما هي الحقائق والمشاهدات التي تحتاج إلى تعليل نظري؟ أولاً، إيجاد تعليل نظري لمصدر القوة الكبيرة التي ترفع الماء ٤٥٠ قدماً، الأمر الذي يحتاج إلى ضغط أو جذب يعادل ٢١٠ أرطال على البوصة المربعة. فإذا أضفنا إلى ذلك الاحتكاك بين الماء وجدران الأنابيب

التي يرتفع فيها الماء كان علينا أن نضاعف القوة التي تلزم لرفع الماء، أي حوالي ٤٢٠ رطلاً على البوصة المربعة.

ثانياً، يلزم أن تعلل النظرية السريعة التي يتم بها رفع الماء خلال جذوع الشجر. ففي بعض الأشجار يرتفع الماء بسرعة ١٥٠ قدماً في الساعة، ويقدر ما يلزم رفعه من الماء في جذع نخلة، تنمو في إحدى الواحات الصحراوية، بحوالي ١٠٠ جالون من الماء في اليوم وهو يعادل ما تفقده النخلة من ماء النتح.

ثالثاً، هذا التفسير يجب أن يكون متفقاً مع حقائق علم التشريح النباتي وعلم وظائف الأعضاء. فالماء يرتفع خلال الخشب أو الأنسجة الخشبية. في هذه الأنسجة خلايا ميتة أي أنها جدران تحيط بفراغ والأوعية التي توصل الماء في أشجار الصنوبريات تسمى بالقصيبات، والقصيبة خلية ذات شكل مغزلي ويبلغ طولها ٣/١٦ من البوصة وقطرها ٠.٠٠١٢ من البوصة. أما في الأشجار الخشبية الأخرى فالقصيبات قليلة والأوعية التي يرتفع فيها الماء تسمى القصبات، وتتكون القصبة من سلسلة من الخلايا ذهبت جدرانها الطرفية، وقد يصل طول القصبة الواحدة إلى ما يزيد على ٣ أقدام (حوالي متر) ويصل قطرها إلى ٠.٠١٥ من البوصة.

المشكلة إذن هي التعرف على ميكانيكية ارتفاع السائل خلال هذه الأنابيب غير الحية. ولعل أول ما يتبادر إلى ذهن الرجل العادي هو أن الإرتفاع يتم بخاصة الشعرية، وهو رأي تذكره بعض كتب البيولوجيا. ولكن الواقع أن الإرتفاع الشعري لا يمكن أن يزيد في أضيق الأوعية الخشبية على خمس أقدام. أما في القصبات الكبيرة فلا يزيد الإرتفاع الشعري على بوصتين أو ثلاث. ولقد أشار بعضهم إلى أنابيب دقيقة توجد في جدران القصيبات والقصبات. وقالوا إن الإرتفاع الشعري يكون خلالها، ولكن الواقع هو أن الماء يمر خلال فراغات

الأنابيب ولا يمر خلال جدرانها. كما تكلم الكثيرون عن النظرية الحيوية التي تقول إن للخلايا البرانشمية الحية التي تحيط بالأنابيب الخشبية دخلاً في عملية صعود الماء. وقد أثبتت التجارب خطأ هذه النظرية لأن الماء يمكن أن يصعد خلال الساق حتى بعد موته، وقد أجرى في هذا الصدد العالم الألماني إدوارد ستراسبرجر تجربة هائلة بأن قطع شجرة بلوط طولها ٧٠ قدماً وغمس طرفها المقطوع في حوض مملوء بحمض البكريك الذي يقتل الخلايا الحية، ثم رفعها من هذا الحوض ووضعها في الماء فوجد أن الماء ما يزال يصعد إلى قمة الشجرة..

ومن التعليلات الأكثر قبولاً، ما يسمى بنظرية الضغط الجذري التي انبثقت من دراسات هالز التي سبق الإشارة إليها. وجد هالز أن لجذور النباتات ضغطاً يرجع إلى امتصاصها الأسموزي لماء الأرض.

واقترح هالز أن هذا الضغط هو القوة التي تدفع الماء إلى أعلى الساق، ولكن الواقع أن هذا تعليل جزئي كما تبين هالز نفسه، لأن الضغط الجذري لا يمكن أن يدفع الماء إلى الإرتفاعات الشاهقة في الأشجار العالية. يضاف إلى ذلك أن بعض النباتات لا يوجد لجذوره ضغط على الإطلاق، وأخيراً فإن الضغط الجذري– إن وجد– لايمكن أن يعلل إرتفاع الماء بالسرعة التي أشرنا إليها سابقاً.

والتعليل الذي يبدو منسجماً مع المشاهدات جميعاً، يرجع فضل اقتراحه إلى عالم أيرلندي اسمه ديكسون وتلميذه جولي (٨٩٥) وقد سمي هذا التعليل بأسماء كثيرة منها: نظرية التماسك، نظرية تيار النتح، نظرية النتح والتماسك التوتري، نظرية ديكسون، ويمكن أن تسمى نظرية توتر الساق، وهذه التسمية أدق تعبيراً كما أنها تقابل تعبير ضغط الجذر.

تعتمد هذه النظرية على إحدى خواص الماء وهي التماسك، ذلك أن الماء الخالي من الغازات الكثيرة إذا حبس في أنبوبة رفيعة لايدخلها الهواء، فإن

مقاومته للشد عظيمة. وقد يحتمل مثل هذا العمود قوة شد تصل إلى ٥٠٠٠ رطل على البوصة المربعة. وقد ثبت أن العصارة النباتية لاتبلغ هذه القدرة على احتمال الشد، ولكن قدرتها تبلغ ٣٠٠٠ رطل على البوصة المربعة. ويمكن نظرياً لمثل هذه القوة أن ترفع عموداً من العصير الخلوي إلى إرتفاع ٦٥٠٠ قدم أي ما يكفي لرفع الماء إلى قمة أطول شجرة. معنى هذا أن العصير الخلوي يمكن أن يحتمل الشد، فما هي القوة التي تشده؟ الواقع أن القوة لا تأتي على شكل ضغط زائد من أسفل يدفع السائل إلى أعلى، إنما هي ضغط منخفض في القمة، هو ضغط انتشار الماء في خلايا الأوراق والخلايا الحية الأخرى في الساق.

الذي يحدث أن الخلايا تفقد جزءاً من مائها في عمليات النتح والهضم والنمو وغيرها من عمليات الأيض. ويتبع ذلك انخفاض في الضغط الانتشاري للماء داخل هذه الخلايا مما يسبب سريان الماء من الأنابيب الخشبية إلى الخلايا بقوة الظاهرة الأسموزية وبذلك يتعرض عمود الماء المتصل بين الجذر في أسفل والأوراق في أعلى للشد نحو الأوراق. يتبع ذلك انخفاض ضغط الانتشار المائي في خلايا الجذر فيسري الماء من التربة إلى داخل الأنسجة الجذرية.

إن قوة الشد التي تنشأ في خلايا الساق تزيد على ما يكفي لرفع الماء إلى قمم أكثر الأشجار ارتفاعاً. وقد ظهر أن لجدران القصيبات والقصبات القدرة على احتمال مرور الماء تحت هذه الضغوط العالية، ويبدو أن هذه الأنابيب تمنع دخول الهواء إلى الحد الذي يكفي لنجاح وصول الماء إلى أعلى الشجرة. ويقدر الفرق بين ضغط الماء في خلايا الأوراق وضغطه في خلايا الجذر بما يتراوح بين ٣٠٠ و ٤٠٠ رطل للبوصة المربعة، وقد يزيد على ذلك. وربما كان للحد الأقصى للشد الذي يمكن أن يتولد داخل نوع معين من الشجرة أثر على تحديد

أقصى إرتفاع يمكن أن تنمو إليه الشجرة. وتكفي قوة شد الساق لتعليل أقصى سرعة يرتفع بها الماء في النبات، فالواقع أن الماء يرتفع بنفس السرعة التي يستهلك بها في البخر أو النتح أو عمليات الأيض، وذلك إذا وجدت كميات الماء الكافية في التربة.

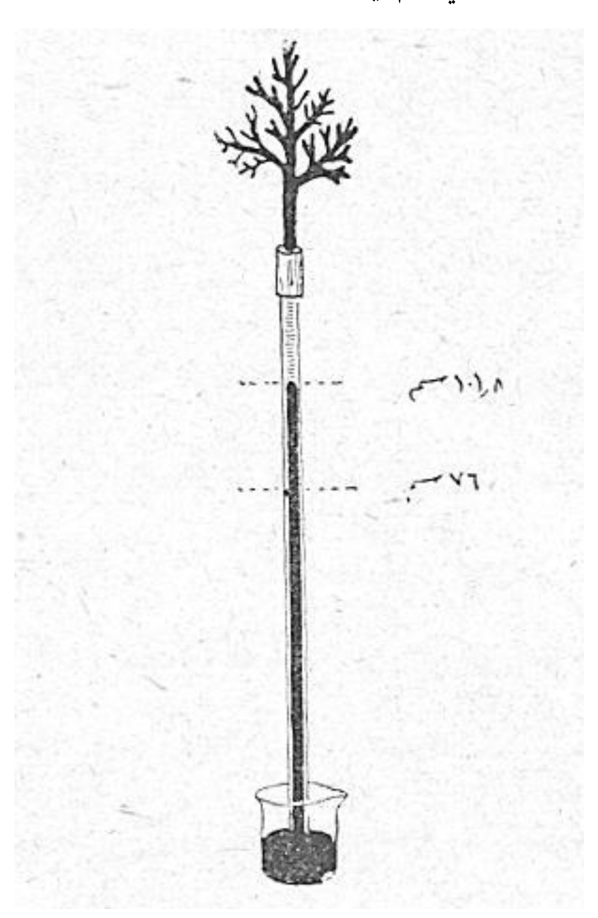
ولا يوجد اعتراض نظري على هذا التعليل لصعود الماء في سوق النباتات وجذوع الأشجار. ولكن الواقع أن الكفاءة التي يتم بها انتقال الماء من الجذور إلى الأوراق تبدو في حاجة إلى مزيد من الشرح.

فلماذا لا تنقطع أوصال أعمدة الماء عندما تتمايل الشجرة بقوة الرياح العاصفة؟ لماذا لا يتأثر النظام كله إذا قطع فرع من فروع الشجرة حتى ولو كان فرعاً كبيراً؟ ليس في الإمكان حالياً الإجابة عن هذه الإستفسارات، ولكنها لا تقلل من قيمة الأسس العامة للنظرية المقترحة.

وهناك دلائل تؤيد وجود قوة الشد في الساق. منها أنه إذا عريت إحدى القصبات، ثم ثقبت بأبرة رفيعة فإن عمود الماء فيها ينهار مما يدل على أنه عمود تحت قوة شد وليست قوة ضغط. وفي تجربة قام بها العالم الأمريكي "ثت" بأن ثبت غصناً في أنبوبة زجاجية مليئة بماء خالٍ من الهواء، ومغمور طرفها الآخر في حوض به زئبق على نحو ما هو مبين بالرسم. فوجد أن الزئبق يرتفع في الأنبوبة إلى مسافة ٤٠ بوصة (١٠١.٨سم) وهي مسافة تزيد بحوالي عشر بوصات على قوة الضغط الجوي (٧٦سم)، وإرتفاع الزئبق هذا يعادل ارتفاع الماء إلى ٤٦ قدماً (شكل ٨).

ويبدو من هذا كله أن القوة المسماة بشد الساق تعلل صعود الماء في أغلب النباتات في أكثر الأحوال، كما أن القوة المسماة بضغط الجذر تعلل صعود الماء في بعض النباتات في بعض الأحوال. ولنختم هذا الحديث بمراجعة

ما كتبه هالز منذ نحو مائتي عام في كتابه عن النبات



(شكل ٨)

جهاز لإثبات قوة شد الساق. أنبوبة ممتلئة بالماء ركب في طرفها الأعلى فرع من نبات، وغمس طرفها الأسفل في حوض زئبق. إذا كان الضغط الجوي قادراً على أن يحفظ الزئبق على إرتفاع ٧٦سم في الأنبوبة، فإن فرع النبات قادر على أن يرفع الزئبق إلى إرتفاع ١٠١.٨سم في الأنبوبة.

إذ يقول في خلاصة استنتاجاته: "تدل هذه التجارب الأخيرة على أن أوعية العصارة الشعرية برغم امتصاصها للماء بغزارة، فإن قدرتها قليلة على

رفعه إلى أعلى دون معاونة الأوراق الناتحة وهي التي تدفع العصارة في تقدمها"، ولهالز العذر إذا ظن أن عملية النتح لازمة، لأن الكثيرين من علماء النبات المعاصرين يظنون أن عملية النتح إحدى عناصر قوة شد الساق. والواقع أن أي استهلاك للماء يولد نقصاً وينتج عنه قوة جذب.

الجزء السادس

نشأة العشيرة النباتية

الفصل الأول

الأشجار الخناقة

يقال إن التطور العضوي في الكائنات هو نتيجة الطفرات الاعتباطية والانتقاء الطبيعي. ولكنا نتساءل عن بعض الأوجه المعقدة لظاهرة الملاءمة الوظيفية التي نشاهدها في بعض الكائنات، وكيف يمكن أن تكون نتيجة الطفرات الاعتباطية. لنأخذ مثلاً تركيب العين البشرية، وهي عضو غاية في التعقيد، يتكون من أجزاء بينها انتظام وتنسيق رائع حقاً، هل يمكن أن يكون مثل هذا العضو نتيجة لتجمع مئات أو آلاف من الطفرات الموفقة المتتابعة؟

سنتناول في هذا الفصل واحداً من أمثلة الملاءمة الوظيفية المدهشة في دنيا النبات، والتي تتمثل فيها مراحل متتابعة للتطور. يوجد في بعض غابات مناطق الأمطار الإستوائية أنواع من النباتات تسمى الأشجار الخناقة. يبدأ النبات حياته كبادرة تنمو متسلقة جذوع أشجار الغابة أو فروعها، ويزداد نموها والتفافها حول عائلها وتحيطه بشبكة من جذورها ثم تظل به حتى تقتله خنقاً وتقف مكانه كشجرة مستقلة.

تعليل وجود هذه النباتات التي تتبع أنواعاً وأجناساً عديدة، أن التنافس بين نباتات الغابة شديدة، وخاصة فيما يتعلق بضوء الشمس. فالنبات الصغير الذي ينشأ في أرض الغابة لايمكن أن يطول به العمر إلا إذا شق لنفسه طريقاً خلال خمائل الغابة العالية، وقد وجدت النباتات الخناقة طريقها لحل هذه المشكلة بتسلق الأشجار. ويبدو من متابعة قصة حياة هذه الأشجار الغريبة

كأنها مدبرة نحو غاية واضحة، وهي أن تجد لنفسها مكاناً تحت الشمس في الغابات الكثيفة التي توجد في المناطق الحارة. أما كيف نشأ هذا النموذج لظاهرة الملاءمة بين الكائن الحي وظروف بيئته، فهو موضوع هذا الفصل الذي قد يفضي إلى تعليل مقبول.

لنبدأ أولاً بالتعرف على قصة حياة واحدة من هذه الأشجار الخناقة ولتكن شجرة التين البرازيلي الخناق. تنبت بذور هذا النبات على فروع الأشجار العالية، أما كيف تصل هذه البذور إلى تلك الفروع العالية فلا يعرف على وجه التحديد، على أن المعتقد أن الطيور والخفافيش التي تأكل الثمار تحمل معها البذور إلى هذه المواضع المرتفعة. تنبت البذرة وتنمو البادرة، وللبادرة أوراق تنمو إلى أعلى نحو ضوء الشمس، ولها نوعان من الجذور: جذور تنمو حول فرع الشجرة أو جذعها، وجذور تتدلى نحو أرض الغابة. وتمتص جذور النوع الأول الماء والغذاء مما يتجمع في شقوق قلف الشجرة، ولا يعني ذلك تطفلاً على الشجرة لأنها لا تمتص منها شيئاً من الغذاء أو الماء، إنها تنمو عالقة عليها. حتى إذا وصلت جذور النوع الثاني (المدلاة) إلى أرض الغابة، ووجدت لها مكاناً في تربتها، ازداد نمو النبات بسرعة وبدأت الجذور تغلظ وتقوى وتزداد تفرعاتها والتفافها حول الشجرة العمادية حتى لتغطيها بشبكة متماسكة قوية. وعند هذا الحد يبدو منظر الشجرة الضخمة غريباً وهي محاطة بهذا السياج الفتاك حتى لتذكرنا ببعض المناظر المتناقضة التي نجدها في الرسوم السريالية، على أن فيها أيضاً صورة لجلال الحياة ومقاصدها.

ويتبع ذلك في مراحل الحياة، مرحلة اغتيال الشجرة العمادية. يحدث ذلك ليس فقط نتيجة لضيق الشبكة الجذرية حتى لتمنع إطراد نمو الشجرة وتغلظها، وإنما أيضاً لأن الشبكة تضيق لتهصر الشجرة هصراً، ومن دلائل ذلك أن هذه

النباتات الخناقة تغتال أشجار النخيل وهي أشجار لا تتغلظ جذوعها بل تنمو طولاً. وبينما تموت الشجرة الضحية خنقاً تستمر جذور التين الخناق في النمو والتغلظ حتى تخفي جذع الشجرة الأصلي، وتنمو عن الجذور ساندات جانبية تمكن التين من الاعتماد على نفسه، حتى إذا تم موت الضحية أصبح التين الخناق نباتاً مستقلاً قائماً له هامة ذات فروع وأوراق. وتصل بعض هذه النباتات إلى أحجام ضخمة تنافس في الطول وضخامة الجذع عمالقة الغابات، وفي المرحلة الختامية للنمو قد يتم اختفاء معالم هذا الماضي السماك، ويبدو جذع التين الخناق وهو في الواقع نسيج متماسك من الجذور، غريب الهيئة لكثرة الساندات الجانبية التي تشبه الحبال المجدولة أو الألواح الضخمة، على أنها قد تتخذ في بعض الأحوال شكلاً أسطوانياً عادياً. وتنكشف حقيقة ماضيها إذا قطعنا جزءاً من الشبكة الجذرية، عندئذ نجد في الداخل فجوة بها البقايا المتعفنة للشجرة الضحية. وقد شوهد عند بلدة "بلم" على مصب نهر الأمازون شجرة "تين خناق" نامية على مدخنة مصنع للطوب مهجور منذ نحو سبعين سنة، وقد كاد يتم اختفاء المدخنة.

والتين البرازيلي الخناق نبات يتبع العائلة التوتية، وهو واحد من عدة أنواع من النباتات الخناقة توجد في غابات البرازيل، والمناطق المطيرة من أستراليا ونيوزيلندا وأماكن أخرى. هذا من ناحية التوزيع الجغرافي؛ أما من ناحية تطور صفات النباتات الخناقة، فهناك بعض الحقائق الهامة التي يجب أن نذكرها. هناك كثير من النباتات التي تشبه الخناقات، ولكنها لا تغتال الأشجار التي تلتف حولها. مثال ذلك نبات برازيلي من جنس يسمى كلوزيا ويشبه بعض أنواع التين الخناق في كل مراحل الحياة عدا مرحلة اغتيال العماد، ففي أعالي أشجار الغابة توجد أوراق الكلوزيا الجلدية ذات اللون الأحمر الداكن، وأزهارها الأخاذة ذات

اللون الوردي، مختلطة مع فروع الشجرة العمادية وأوراقها دون أن تصرعها.

ولذلك فالكلوزيا تمثل إحدى خطوات تطور صفات النباتات الخناقة ففيها صفات الملاءمة للاعتماد على شجرة أخرى كسناد تربط نفسها به وترتفع نحو ضوء الشمس، ولكنها لا تغتال الشجرة التي اعتمدت عليها، وعندما تموت الشجرة العمادية يبدو أن الكلوزيا تموت معها، على أن التأكد من ذلك يحتاج إلى المزيد من الملاحظة.

على أن هناك نباتات أخرى تتبع العائلة التوتية أيضاً، وتوجد في البرازيل، وتتمثل فيها خطوات أدنى في تطور النباتات الخناقة، نذكر منها ثلاثة أجناس: قوصاپوا وپوروما، وسقروبيا. هذه النباتات تختلف عن التين الخناق وعن الكلوزيا في مراحل النمو الأولى، فبذورها تنبت على أرض الغابة ولا تنبت متعلقة بجذوع الأشجار وفروعها، وقد يستمر نموها على أرض الغابة دون الحاجة إلى تسلق أشجار عمادية، ولكن إذا وجدت العماد فهي تتسلقه.

ومن الأمور المدهشة أن ظاهرة التسلق الخانق موجودة في عدد من العائلات النباتية التي لا تربطها وشائج القربى؛ ففي غابات نيوزيلندا لا توجد أنواع التين الخناق ولا غيره من أفراد العائلة التوتية، ولكن يوجد نبات خناق يسمى الراتا يتبع العائلة الآسية (الكافورية)، ونبات الراتا يغتال شجرته العمادية بنفس الطريقة والخطوات التي يتخذها التين الخناق. على أن هناك أنواعاً قريبة من الراتا تتسلق الشجر دون أن تغتاله.

ويوجد في غابات نيوزيلندا أنواع أخرى تتبع عائلات مختلفة وتتمثل فيها خطوات مختلفة لتطور التسلق الخانق، ومنها الوينمانيا (من العائلة الكونونياسية) والجزيزلينيا (من العائلة الكورناسية). هذه نباتات لا تجمع بينها وشائج القربى، ولكنها تتشابه في قدرتها على الحياة المستقلة، وقدرتها على ممارسة التسلق

الخانق. وأغلب الضحايا من السراخس الشجرية ذات الأوراق الريشية الجميلة، والتي تتميز بها نيوزيلندا.

وتغطي جذوع هذه الأشجار طبقات إسفنجية من الألياف، تتجمع فيها مياه المطر وتصبح مكاناً صالحاً لإنبات البذور. وقد أفادت نباتات عديدة من هذه الفرصة السانحة، ولاءمت بين حياتها وهذا الوسط الصالح، حتى فقدت بعضها القدرة على الإنبات المستقل وأصبحت نباتات خناقة، بينما حفظت الأنواع الأخرى قدرتها على الإنبات المستقل.

ومن الملاحظ أن الجنس الواحد قد يتضمن أنواعاً من النباتات الخانقة، وأنواعاً أخرى تعيش مستقلة. ومثال ذلك جنس التين الذي تتميز به غابات البرازيل، فمنه أنواع متسلقة خانقة، وأنواع أخرى تنمو أشجاراً لا تحتاج إلى سناد.

والخلاصة أن الدراسة المقارنة لهذه الأشجار الخناقة، تظهر أن لهذه الأنواع العجيبة من أفراد المملكة النباتية صوراً متعددة للملاءمة مع ظروف الحياة في بيئة غابات المناطق الحارة.

الفصل الثاني

نباتات جزيرة كراكاتاو

في الساعة العاشرة والدقيقة الثانية من صباح يوم ٢٧ أغسطس عام ١٨٨٣، دوى في جزيرة صغيرة تقع فيما بين جزيرتي جاوه وسومطره انفجار من أشد ما عرف البشر عنفاً. وكانت أقرب المناطق المأهولة تقع على مسيرة ٢٥ ميلاً (٤كيلو متراً) من مكان الانفجار، ورغم هذه المسافة فإن ٣٦٤١٧ شخصاً ماتوا غرقاً تحت طوفان أمواج المدّ الذي تبع الانفجار. وقد سمع الدوى الهائل على بعد مسافات تزيد على الألف ميل (١٦٠٠ كيلو متر). وقد تناثر في هذا الانفجار الجزء الأوسط من جزيرة كراكاتو البركانية التي طالما عاودتها الهزات الأرضية.

كانت الجزيرة قد بدأت تتفتت قبل الانفجار الرئيسي بساعات، ثم تتابعت تفجرات ساحقة أثناء النهار.

بعد مضي شهرين على هذا الحادث المدمر، تمكن عدد من الرجال من الاقتراب من الجزيرة، فوجدوا أن الجزء الأكبر منها، وكان يشغله بركانان، وقد انخسف وغطاه ماء يزيد عمقه على ٨٠٠ قدم (٢٥٠ متراً). ويقدر حجم الصخر والأحجار والأتربة التي ذربت في الهواء بما يقرب من ستة أميال مكعبة (٢٤ ألف مليون متر مكعب). وإن انفجارات القنابل الهيدروجينية تكاد تقرب في شدتها وعنفها من هذا الانفجار البركاني الذي حدث في كراكاتو. ولم يبق بعد الانفجار في جزيرة كراكاتو غير جبل يبلغ إرتفاعه ٢٥٠٠ قدم تكسوه طبقات

سميكة من الخفاف والأتربة الساخنة، حتى ليتعذر السير عليها بالأقدام العارية. وكانت سحابات من البخار تنبثق من أجزاء عديدة من الجزيرة وخاصة في الوديان التي حفرتها مياه الأمطار في أحجار الخفاف المتفككة. واندثرت من الجزيرة كافة أنواع الحياة الحيوانية والنباتية فلم يبق عليها شيء من شجرها ونبتها.

وقد لا يبدو هذا المكان الخرب مكاناً مناسباً لدراسة طرق توزيع النبات والحيوان. ولكن النظر الفاحص يظهر أن مثل هذا المكان العاري يمثل مساحة نموذجية لمثل هذه الدراسات؛ فإعادة تعمير هذه الجزيرة الجرداء تعني انتقال بذور النباتات وجراثيمها وانتقال الحيوانات عبر ٢٥ ميلاً (٤٠ كيلو متراً) من البحر وهي المسافة التي تفصل جزيرة كراكاتو عن أقرب جزيرة آهلة بالحياة. أما جزيرة سبيزى التي تبعد حوالي ١٢ ميلاً (١٩ كيلو متراً) شمالاً، فقد تأثرت أيضاً بالغازات الخانقة والغبار الساخن حتى لم تعد صالحة لتكون مصدراً للبذور.

وعندما زار عالم النبات الفرنسي كوتو الجزيرة في مايو ١٨٨٤ أي بعد تسعة أشهر من الانفجار، كتب يقول: "بالرغم من البحث والتنقيب لم أعثر على أثر للحياة الحيوانية أو النباتية عدا عنكبوت واحد كان يغزل نسيجه. هذا الكائن الجلد الذي يمثل طليعة التعمير".

وبعد مضي ثلاث سنوات، زار الجزيرة فريق من علماء النبات الهولنديين وعلى رأسهم ميلشيور ترويب، فوجدوا الحالة مختلفة. فعلى شاطئ الجزيرة وجدوا نباتات عديدة مما ينمو عادة على شواطئ المناطق الحارة، وفي داخل الجزيرة وجدوا كثيراً من السراخس وعدداً من الحشائش وقليلاً من النباتات الأخرى.

ثم انقضت عشر سنوات أخرى، قبل عودة علماء النبات لزيارة الجزيرة، وكانت قد غطتها الخضرة، وكست الكازورينة أماكن متفرقة، ونما قصب السكر

البري، ووجدت أربعة أنواع من الأراشيد الأرضية وعلى الشاطئ وجدت أشجار صغيرة لنبات جوز الهند. والملاحظة العامة كانت أن الكساء النباتي على الشاطئ كان أغزر منه في داخل الجزيرة.

في عام ١٩٠٦ كانت الجزيرة قد تم تغطيتها بكساء كثيف من النبت. وكان أساس هذا الكساء من الحشائش بينها بعض الأشجار هنا وهناك. وفي عام ١٩٢٠ تغيرت الحال فأصبحت الأشجار تكسو أكثر من نصف مساحة الجزيرة. وفي عام ١٩٣٠ تم كساء الجزيرة بغابات شجرية نامية على قلة إرتفاعها وعدم نضجها.

ماذا يعني هذا التاريخ، وكيف يفسر الانتشار الطبيعي للنباتات في العالم كله؟ قد اقتضى استئناف الحياة في جزيرة كراكاتو بعد أن تم تدمير الحياة فيها، أن ننتقل إليها بذور النباتات وجراثيمها من أماكن أخرى نائية، فكيف تم الانتقال؟

يحتل الريح المكان الأول بين وسائل الانتقال؛ فالجراثيم والبذور الخفيفة يحملها الهواء، والبكتيريا مثلاً تسبح في الهواء حتى في الحجرة المغلقة، وجراثيم السراخس في مثل وزن حبوب اللقاح التي يحملها النسيم من شجرة إلى أخرى من أشجار الصنوبر لتتم عملية التلقيح. ومن الطريف أن نذكر أن نصف عدد النباتات التي وجدت في الجزيرة، بعد مضي ثلاثة أعوام على الانفجار، كانت من السراخس، بينما العادة أن لا تزيد نسبة السراخس بين نباتات المناطق الحارة على ١٠ أو ٢٠ في المائة. أي أن طريقة انتشار السراخس بوساطة جراثيمها الخفيفة مكنتها من السبق في الوصول إلى هذه الجزيرة. ومع تتابع السنين لحقت بها نباتات أخرى من ذوات البذور الأثقل وزناً وبذور الأراشيد تماثل جراثيم السراخس خفة، فإن ملايين عديدة منها لا تكاد تزن أوقية واحدة. ولكن أغلب الأراشيد تعيش معلقة على جذوع الشجر، أو في تربة

غنية بالدبال. وعلى الرغم من هذه الاحتياجات الخاصة فإن أربعة من الأراشيد وجدت مزهرة في الجزيرة بعد ١٣ سنة من وقوع الانفجار، ويدل هذا على أن أعداداً كثيرة من بذور الأراشيد قد انتقلت إلى الجزيرة دون أن تجد البيئة الصالحة لنموها، واستطاعت أربع منها فقط أن تحتمل الحياة.

وهناك بذور عديدة تنتقل على متن الريح رغم ثقل وزنها، ذلك لأن لها شعراً أو زغباً، كالقطن والحور الكندي والهندباء، أو أن يكون لها جناح كثمرة الغرغار. ولاشك في أن بذور أنواع عديدة من الحشائش التي ظهرت عقب الانفجار قد انتقلت بالريح، وتقدر نسبة النباتات التي وصلت بذورها إلى الجزيرة بهذه الوسيلة بحوالي ٤٠% من مجموع النباتات الموجودة الآن في الجزيرة. لذلك تعتبر الريح أهم عامل في انتشار نباتات هذه المناطق الحارة.

على أن بذور بعض النباتات التي وجدت على شاطئ الجزيرة عام ١٨٩٦ مثل جوز الهند، أثقل من أن يحملها الريح، ولا ريب أن ثمار جوز الهند التي أنبتت هذه الأشجار قد حملها البحر. فأشجار جوز الهند تنمو على شواطئ جزر المناطق الحارة في المحيط الهادي والمحيط الهندي، ولا يعدو نمو هذه الأشجار في العادة المناطق الساحلية.

فعندما تتساقط الثمار ينحدر الكثير منها إلى البحر، حيث تظل طافية، وكثيراً ما نشاهد ثمار جوز الهند تتقاذفها الأمواج قرب سواحل الجزر ضمن ما تتقاذفه من أخشاب وغيرها من بذور الكثير من النباتات.

وقد أظهرت التجارب أن بقاء الكثير من هذه البذور والثمار في ماء البحر، لفترة تصل إلى عدة أسابيع لا يفسدها؛ إذ تنبت حالماً تصل إلى الشاطئ وتغسل عنها مياه الأمطار ما علق بها من أملاح. والقشرة المتينة أو الأغطية الليفية التي تغطي بعض البذور والثمار تحميها من الأضرار التي يسببها

الاحتكاك مع رمال الشاطئ.

ولعل هذه التجربة الطبيعية في جزيرة كراكاتو، تعلل التشابه بين نباتات سواحل جزر المحيط الهادي. فإن عشرات الأنواع النباتية المختلفة التي توجد على هذه الشواطئ، قد انتشرت من جزيرة إلى أخرى بوساطة التيارات البحرية. وقد بلغ من كفاءة هذه الوسيلة أن الجزر حديثة النشأة سرعان ما تعمرها نباتات الشاطئ. والواقع أن انتشار النباتات على متن التيارات البحرية يعلل الكثير من الظواهر الهامة في توزيع النباتات في القارات الكبرى. فعادة يظن الناس أن النباتات جميعاً تنتشر عبر الأرض اليابسة، وأن البحار والمحيطات تعوق انتشار النباتات، ولكن نباتات الشاطئ الغربي لأفريقيا تختلف عن نباتات شاطئها الشرقي. فالأولى أقرب شبهاً لنباتات الشاطئ الشرقي لأمريكا الجنوبية، مع ما بينهما من آلاف الأميال عبر المحيط الأطلسي، وتشبه نباتات الساحل الشرقي لأفريقيا، نباتات سواحل جزر المحيط الهندي والمحيط الهادي، وتعليل ذلك أن نباتات الشاطئ لا تنتشر عبر القارات وإنما تنتقل عبر البحر.

وفي عام ١٨٨٦ لم يوجد في جزيرة كراكاتاو سوى النباتات التي تنتقل بذورها وجراثيمها بالريح أو بالتيارات البحرية. وفي عام ١٨٩٦ وجد أن حوالي ٩٥% من الأنواع النباتية قد وصلت الجزيرة بطرق أخرى، أما الآن فتبلغ الأنواع النباتية التي وصلت الجزيرة عن طريق الريح أو البحر حوالي ٤٠% من مجموع الأنواع النباتية التي توجد في الجزيرة. والغالب في هذه الأحوال أن انتقال بذور هذه النباتات تم بوساطة الحيوانات وخاصة الطيور، وفي بعض الأحوال كان الإنسان هو عامل الانتشار. ففي عام ١٩١٦ وصل الجزيرة جماعة من الرجال للعمل في استغلال حجر الخفاف، وجاءوا معهم بأشجار بعض الفواكه كالمانجو فنمت لسنوات قليلة، فلما لم تطل إقامة الرجال وغادروا الجزيرة

سرعان ما تكاثرت النباتات البرية على الأشجار المزروعة فزاحمتها واستأصلتها. ومن الواضح أن الأشجار المزروعة تحتاج إلى رعاية الإنسان المستمرة ليعاونها على البقاء، فمن النادر وجود نباتات كالذرة أو الطماطم بين أحراش الكساء النباتي الطبيعي.

وأغلب النباتات التي ينقلها الحيوان تحملها الطيور، ومما يؤكد ذلك أن بذور هذه النباتات كبيرة الحجم ثقيلة الوزن مما يستحيل معه انتقالها على متن الهواء أو الماء. وأغلبها ذوات ثمار غضة مما تأكله الطيور.

وتمر بذور كثيرة من تلك الثمار عبر قنواتها الهضمية دون أن تنكسر، وتخرج مع البراز محتفظة بحيويتها ودون أن يلحقها ضرر. ولذلك فإن أي بذرة تبقى في بطن طائر يعبر مسافة الخمسة وعشرون ميلاً، التي تفصل جزيرة كراكاتاو عن جزيرة جاوة، يمكن أن تنبت إذا هي خرجت مع براز الطائر. ونذكر بين النباتات التي نقلتها الطيور إلى جزيرة التين والبباز.

وقد يتشكك المرء متسائلاً عن النبات الطفيلي المسمى بالدبق، لماذا لم يظهر في الجزيرة مع أنه نبات لا ينتقل إلا بالطير وهو يعد منتشر في الجزر المجاورة؟ ولكن المشاهدات دلت على أن بذور الدبق تنقلها أنواع خاصة من الطير لا تبقى البذور في بطنها غير دقائق تتراوح بين ١٢ و ٢٠ دقيقة بعد ابتلاعها، ولا تكفي هذه المدة القصيرة للرحلة عبر ٢٥ ميلاً، وهي مسافة تستغرق على الأقل ساعة من طيران الطيور. وهناك أنواع أخرى من الطير، تحفظ البذور في بطونها لمدة لا تقل عن مائة دقيقة.

ولكن هذه الطيور لا تطعم ثمار الدبق، ولذلك فهي تعين على نقل نباتات كثيرة ليس من بينها الدبق من الجزر المجاورة إلى جزيرة كراكاتاو.

ومن المؤكد أن بعض الطيور يحمل البذور إلى مسافات طويلة، وما لم يثبت أن هناك طرقاً أخرى تحمل بها الطيور البذور غير وسيلة القناة الهضمية، فإن مدى انتشار هذه البذور سيظل في افتراضنا متناسباً مع طول الفترة التي يحفظ فيها الطائر محتويات أمعائه. على أن شارل دارون كان يعتقد– بل أثبت في إحدى الحالات– أن البذور يمكن أن تنتقل من مكان إلى آخر وهي عالقة مع الطين الذي يلتصق بأرجل الطير وهي تخب في المستنقعات. وقد يعلل هذا الانتشار بعيد المدى لنباتات المستنقعات. وقد يعلل هذا الانتشار بعيد المدى لنباتات المستنقعات، ولكن لا توجد مستنقعات في جزيرة كراكاتاو. ومن الجائز أن تلتصق البذور في أجسام الطيور على نحو أو آخر، ولكنه افتراض لم يقم عليه دليل.

ومن وسائل انتشار النباتات التي كثيراً ما يتردد ذكرها هو التصاق بذورها بقطع الخشب التي تطفو على الماء فتدفعها الأمواج أو التيارات من مكان إلى آخر. وهو قول مشكوك في صحته، ذلك لأن النباتات التي تحتمل بذورها الماء المالح قليلة جداً، أضف إلى ذلك أن قطع الخشب الطافية تصل إلى مواضع من الشاطئ قريبة جداً من الماء المالح حيث يتعذر إنبات ما قد تحمله من بذور. على أنه احتمال يستحق البحث.

وقد وجد كاتب هذا الفصل في فجوة من فجوات قطعة خشب طافية فوق مياه المحيط قرب الجزيرة، بيضتي سحلاة بدت له محتفظة بحياتها.

وقد تختلف الآراء في تعليل وصول النباتات إلى الجزيرة، ولكن الحقيقة هي أن النباتات قد وصلت بطريقة أو بأخرى، وهذه هي النتيجة الهامة للتجربة الطبيعية التي بدأت بالانفجار الهائل الذي تصدعت له جوانب هذه الجزيرة. على أن أحد المشتغلين بعلم النبات افترض أن بذور النباتات قد عاشت خلال

أحداث ٢٧ أغسطس عام ١٨٨٣، وألف كتاباً كاملاً لإثبات هذا الافتراض. ولكنه لم يستطع أن يقنع علماء النبات بهذا الرأي، فليس من المعقول أن تحتمل النباتات أو بذورها أو جذورها أو أي جزء منها، وطأة النار المحرقة والغازات السامة والانفجارات المروعة التي غمرت الجزيرة بطبقة من الرماد والخفاف الساخن يتراوح عمقها بين ٢٠ و ٢٠٠ قدم، حتى لقد لوحظ بعد مضي شهرين من الانفجار أن الجزيرة كان يتصاعد منها بخار الماء بعد الأمطار مما يدل على أن تبقى النباتات أو بذورها حية تحت هذه الظروف التي تمحق الأخضر واليابس.

ولا تزال الجزيرة مجالاً خصيباً للدراسات البيولوجية، إذ لم تصل الحياة النباتية والحيوانية فيها إلى درجة الاستقرار. وعلى سبيل المثال نذكر أن الفيران قد تزحم الجزيرة في سنة من السنين، ولكن هذه الحال لا تستمر غير عام أو عامين، ثم يعود إلى التوازن الطبيعي فلا يكاد يوجد في الجزيرة فأر واحد. ونذكر مسألة أخرى ذات طرافة خاصة. يوجد بهذه المناطق نباتات تسمى نباتات النمل، إذ تسكن إليها أنواع من النمل تقيم بيوتها في سوق هذه النباتات وريزوماتها، والغريب أن كل نوع من أنواع النمل يختص بنوع معين من النبات يتخذه لسكناه.

نضرب لذلك مثلاً بسرخس من نوع البسيج ينمو متعلقاً على جذوع الأشجار في جزيرة جاوة، ويختاره دون سواه نوع من النمل. وقد حدث أن سبق هذا النوع من النمل إلى جزيرة كاراكاتاو قبل أن يصل إليها سرخس البسيج الخاص، وذكر أحد علماء الحياة ممن زاروا الجزيرة أنه شاهد أفراداً من هذا النمل تجري بلا هدف، ويبدو عليها القلق وعدم الاستقرار والحياة غير المنتظمة. ولكن عندما زار مؤلف هذا الفصل الجزيرة بعد مضي سنوات على

تلك الملاحظة، شاهد سرخس البسيج الخاص ينمو متعلقاً على جذوع الشجر، وقد بنى ذلك النمل بيوته داخل ريزوماته، ومن الواضح أن جراثيم السرخس وصلت على متن الريح، وتساقطت على جذوع الشجر حيث استقرت بها الحياة، أما النوع الخاص من النمل فقد سبق إلى الجزيرة، وعاش جيلاً بعد جيل وحيداً لا يعرف السبيل إلى الاستقرار والعيش الرضي حتى وصل صاحبه، فالتقى الشتيتان وعاودا حياة التكافل معاً. هذا مثل طريف للدوافع الغريزية وقوة عوامل الملاءمة الطبيعية.

وتمثل جزيرة كراكاتاو تجربة محدودة المدى، لأن تاريخ تطور الحياة النباتية تضمن انتشار النباتات لمسافات تصل إلى آلاف الأميال.

والرحلة التي قطعت فيها النباتات ٢٥ ميلاً لتصل إلى جزيرة كراكاتاو نموذج مصغر لظاهرة التوزيع النباتي. فلو زادت المسافة بين هذه الجزيرة والأرض الزاهية بالكساء النباتي على ٢٥ ميلاً، لاحتاج الأمر إلى سنين أطول قبل أن تتم الرحلة النباتية. بل ربما طال الزمن إلى آلاف السنين قبل أن يصل عدد معقول من أنواع النبات تكفي لإتمام الكساء النباتي. وفي تعليل توزيع النباتات في الطبيعة قد نرجع فترة انتشارها إلى ملايين السنين، ولنأخذ مثلاً آخر جزيرة جاوة وسومطرة وكل منهما ذات تاريخ جيولوجي قديم، ومع ذلك لم تظهر فيهما الجبال إلا بعد نشأة البراكين في عصور تعتبر حديثة في القياس الجيولوجي. إذ ترجع إلى بضع ملايين من السنين، ويبلغ إرتفاع بعض هذه الجبال ما يقرب من إرتفاع جبال الألب، ونباتات المناطق الحارة التي تكسو الأراضي المنخفضة في جاوة وسومطرة لا تنبت عند قمم هذه الجبال، كما تنمو عند هذه القمم نباتات شقائق النعمان والكوشاد والعليق الشوكي والآس البري وغيرها مما لاينمو قط في وهاد هذه الجزر. ومعنى هذا أن النباتات قد انتقلت من قمة جبلية إلى قمة

أخرى، كأنها تقفز من مرتفع إلى مرتفع.

ويلاحظ أن ثمار أغلب هذه النباتات مما تأكله الطيور، فتحمل بذوره في طيرانها من مكان إلى آخر. على أن بعض هذه القمم، على تشابه جوها وتربتها تفتقر إلى العديد من هذه الأنواع النباتية، حتى ليقال إن ملايين السنين لم تكف بعد لتمام توزيع هذه النباتات على القمم جميعاً. ومثل خاص من هذه الأنواع نبات آذان الدب الذي نشأ في جبال الهملايا ويوجد حالياً في بعض قمم الجبال البركانية بسومطرة على مسيرة ١٥٠٠ ميل (٢٤٠٠ كيلو متر) وجاوة على مسيرة ٥٠٠- ١٠٠٠ ميل أخرى، ومع ذلك يوجد هذا النبات على قمم ثلاثة جبال بركانية دون عشرين قمة أخرى على تشابهها جميعاً في الارتفاع. حتى ليقال إن هذا النبات قفز من موطنه إلى بعض القمم ولم يوفق إلى الطريق نحو الأخرى.

ونذكر أيضاً انفجاراً بركانياً حدث في الأسكا عام ١٩١٢، فدمر الحياة في مساحة مئات الأميال المربعة؛ إذ انفجر جبل كتاني وتناثر ولم يبق في مكانه غير أرض منخفضة يطلق عليها "وادي الأدخنة العشرة الآلاف". ولكن منطقة التدمير كانت جزءاً من أرض متصلة دون حاجز يفصل بينها وبين الأراضي الفسيحة التي لم يصلها أثر التدمير.

ولذلك فليس من اليسير أن نستخلص من تاريخ معاودة الحياة النباتية إلى هذا الوادي الحقائق والظواهر الطبيعية المتعلقة بتوزيع النباتات وانتشارها. وتبقى تجربة جزيرة كراكاتاو فريدة في أهميتها العلمية.

الفصل الثالث

بيئة النباتات الصحراوية

يكثر الخلاف والتضارب بين القواعد التي توضع لتعليل السلوك البشري، ذلك لأن استنباط هذه القواعد لم يعتمد على التجارب. أما سلوك الحيوان والنبات فهو أطوع للدراسة سواء في الحياة الطبيعية أو في التجارب المعملية. والمأمول أن تفضى دراسات علم البيئة النباتية والحيوانية إلى تيسير فهمنا للعلاقات الإنسانية، لأن القواعد الأساسية التي تنظم العلاقات بين الكائنات الحية في عمومها لابد أن تصلح لتعليل السلوك البشري. ولكن دراسات علم البيئة في المناطق الرطبة غاية في الصعوبة والتعقد، ولذلك فدراسة حياة النبات في الصحراء قد تعين على استخلاص بعض القواعد العامة للحياة النباتية، ذلك لأنها حياة أقرب إلى البساطة والوضوح.

الصحراء مكان نموذجي للأبحاث لم يفسده زحف الحضارة والحياة الحديثة، والنباتات متفرقة مما ييسر دراستها بالتفصيل، وتوضح الحياة فيها غاية الإيضاح آثار الحياة الطبيعية على ظروف البيئة، ومن أهم العوامل الطبيعية قسوة المناخ الصحراوي؛ فالرياح عاصفة دون ما حواجز تعترضها، والحرارة والمطر شديدا التغير، فكمية المطر قد تختلف من عام إلى عام بما يربو على خمسة أضعاف، ورخات المطر قليلة العدد حتى لتمكن دراسة آثار كل رخة على حدة. أضف إلى ذلك أن الظروف الصحراوية تمكن محاكاتها في المعمل بغية القيام بالدراسات التجريبية على الإنبات والنمو. وما يزال للصحراء سحر خاص يجذب إليها علماء النبات لاسيما في الربيع.

وأشد صحاري الولايات المتحدة جفافاً هي منطقة وادي الموت التي يفصلها عن المحيط الهادي- وهو أقرب مورد للرطوبة وبخار الماء- جبال سييرانيفادا العالية. متوسط المطر السنوي يبلغ ١.٢٥ بوصة، ولا يكاد يوجد ماء جار فيما عدا عيوناً قليلة يجري إليها الماء المنحدر عن سفوح الجبال الجافة التي تحيط بالوادي. ولما كان مستوى الأرض بالوادي دون مستوى البحر فليس له نظام للصرف، أي أنه حوض تتجمع فيه المواد التي تدفعها المياه المنحدرة عن سفوح الجبال المجاورة.

ولذلك فقد تجمعت في الجزء الأوسط منه أملاح كثيرة، والناظر من مستوى عال يرى طبقات الملح لامعة في ضوء الشمس كأنها صفحة مياه بحيرة، ولكن الراجل يجدها سطحاً جافاً خشناً تعتوره كتل من الملح هرمية الشكل يسمع لها شقشقة وجلجلة وهي تتمدد في النهار الحار وتتقلص في الليل البارد.

لا ينمو النبات في السهل الملحي، وليس به غير الأحجار الجرداء والحصى وكتل الملح. وتوجد النباتات على جوانب السهل الملحي إذ تتناثر شجيرات الغاف ذات الوريقات الخضراء النضرة التي توحي بوفرة الماء حتى لتبدو كالشيء في غير موضعه. والواقع أن لهذه الشجيرات مورداً وفيراً من الماء الأرضي، فلها جذور تتعمق إلى مسافات تتراوح بين ٣٠ و ١٠٠ قدم، وبهذه الجذور تصل الشجيرات نفسها بالماء الأرضي، وتمتص منه حاجتها؛ فهو معين تتجمع فيه المياه العذبة التي تنحدر من الجبال وتتسرب إلى الطبقات العميقة من الأرض. فإذا كانت جذور الغاف كذلك، فمعنى هذا أن جذور البادرة الصغيرة لهذا النبات تمتد في الرمل الجاف مسافة ٣٠ قدماً أو يزيد قبل أن تصل إلى مورد الماء، فكيف يتسنى لمثل هذه البادرة ذلك؟ ما تزال الإجابة عن هذا السؤال كالأحجية التي لم تحل. فأغلب شجيرات الغاف في وادي الموت

تصل أعمارها إلى مئات السنين، وقد تغطي كثبان الرمل بعض هذه الشجيرات حتى تغمرها؛ إذ تتجمع الرمال التي تحملها الرياح حول الشجيرات سنة بعض أخرى، وفي بعض الأماكن تخرج عشرات أو مئات من الجذوع من أحد الكثبان، وهي جميعاً– في أغلب الظن– فروع جديدة تنبت من شجيرة عتيقة غطاها الكثب الرملي.

ومثل آخر نضربه لنباتات الصحراء ذات الجذور الكبيرة، شجيرة الكريزوت. لهذه الشجيرة أوراق دائمة الخضرة، وجذور تضرب في الأرض عمقاً وعرضاً لتمتص الماء من مناطق كبيرة من الأرض.

وتتوزع الشجيرات على سطح الصحراء بنظام مدهش تاركة بينها مسافات تكاد متساوية. ويبدو أن الجذور الممتدة عرضاً تفرز مواد سامة تمنع البادرات الصغيرة من النمو في المساقات بين الشجيرات.

كما يبدو أن المسافات بين الشجيرات تحددها كمية المطر؛ ففي المناطق التي يقل فيها المطر تزداد هذه المسافات، حتى ليبدو أن المطر الكثير يغسل عن التربة هذه السموم فيتسنى للبادرات أن تعيش في المسافات بين الشجيرات الناضجة. ومن الملاحظ أن بادرات الكريوزوت تكثر على جانبي الطرق الصحراوية، عندما يقتلع عمال رصف الطرق الشجيرات الكبيرة فيخلو بذلك المجال للبادرات الصغيرة.

ومما يقال عن شجيرة الكريوزوت إنها تساقط أوراقها الخضراء إذا استطالت فترة الجفاف وتبقى على أوراق صغيرة ذات لون أخضر بني، فإذا استمر الجفاف سقطت هذه الأوراق بدور هاثم تموت شجيرات المنطقة كلها ما لم تتداركها الأمطار. على أن موت شجيرات الكريوزوت لا يحدث إلا إذا طالت فترة الجفاف على نحو لا يحدث إلا نادراً، وفي مثل هذه الحالات الشديدة تموت

أغلب الشجيرات.

هذا تعليل ما يلاحظ من أن الشجيرات النامية في منطقة ما لا يكاد يتفاوت بينها العمر، لأن كل مجموعة تنمو بعد أن يهلك الجفاف الشجيرات الناضجة، أو بعد مطر هاطل ييسر النبت والنماء بين الشجيرات الناضجة.

وهناك أنواع أخرى من الشجيرات تبدو قادرة على الحياة الصحراوية الضنكة. منها نوع من البيسفللم له أوراق خضراء نضرة حتى ليبدو أن له القدرة على الحياة بغير ماء، ونبات طيم الصحراء ذو الورق الأبيض وله القدرة على النمو في الأراضي المالحة.

ويتحكم عاملان رئيسيان في وفرة النبات وتوزيعه، وهما عدد البذور التي تنبت، والظروف التي تلاقيها البادرات وهي تتهيأ للنضج. والعامل الثاني هو الأهم في حالة الشجيرات الصحراوية، إذ قد يظهر عدد وفير من البادرات في موسم المطر، إلا أن الحياة لا تطول إلا بالقليل منها إلى مرحلة النضج. أما في حالة النباتات الحولية فلعدد البذور التي تنبت الأثر الأكبر. وفي بعض السنين تتغطى أرض وادي الموت ببساط زاه من الألوان، مثال ذلك ما حدث في عام ١٩٣٦ وعام ١٩٤٧ عندما جاء الربيع وملايين من النباتات المزهرة تغطي الأجزاء غير الملحية: الأفاحي الصحراوية ذات الزهور الذهبية المصفرة، وزهر ورد المسا الأبيض، وغيرها من الأزهار الوردية اللون. وظهور هذه الوفرة من الزهر لا يتوقف على كون العام مطيراً؛ ففي عام ١٩٤١ بلغت كمية المطر السنوي ٤.٢ بوصة، دون أن يتبع ذلك وفرة في الأزهار في تلك السنة ولا في الربيع التالي، ذلك لأنه كي يزهر وادي الموت يلزم سقوط كمية من المطر في شهري نوفمبر وديسمبر، فإذا بلغ المطر في هذين الشهرين ما يزيد على البوصة فإن الربيع التالي يزدهي بالنبت والزهر. وهذا هو ما حدث في نوفمبر وديسمبر

من عامي ١٩٣٨ و ١٩٤٦.

أما سقوط مثل هذه الكمية من المطر في شهري أغسطس وسبتمبر أو شهري يناير وفبراير فقليل الجدوى.

والأمر المدهش أن هذه النباتات الحولية، التي يزدهي بها الربيع في بعض السنوات المطيرة، ذات صفات عادية ولا تتميز عن النباتات التي تزرع في الحدائق وتنمو في الحقول بأي صفات تعينها على احتمال الجفاف، ولكنها تنمو في الصحراء دون غيرها وسبب ذلك هو حذر بذورها العجيب؛ ففي السنوات الجافة تبقى هذه البذور ساكنة وليس في ذلك غرابة، ولكن الشيء العجيب أنها لا تنبت إلا إذا جاءها كمية مطر أقلها نصف بوصة وأفضلها بوصة أو بوصتان. وإستجابة البذور للإنبات إثر المطر الوافر دون المطر القليل تبدو غريبة، لأن كمية المطر التي تبلغ عشر البوصة تبلل الطبقة السطحية من التربة (حيث البذور) بنفس الدرجة التي تبللها كمية المطر الكثير التي تبلغ البوصة.

فكيف يمكن للبذرة الساكنة أن تقيس كمية المطر؟ التجارب المعملية تظهر قدرة البذور على ذلك. فإذا وضعت في المعمل كميات من التربة الصحراوية المطمور بها بذور الحوليات، وأسقط عليها الماء رذاذاً كالمطر، فإن هذه البذور لا تنبت حتى تصل كمية الماء المتساقط عليها إلى ما يعادل بوصة من المطر. زد على ذلك أنه يلزم سقوط الماء من أعلى كما يسقط المطر، فإذا جاء الماء بالتسرب من أسفل كأن يغمس الوعاء الذي يحوي التربة وبذورها في الماء، فإن البذور لا تنبت. ويبدو هذا أيضاً غاية في الغرابة، إذ كيف يمكن لبذرة أن تدرك الإتجاه الذي تسري فيه جزيئات الماء؟ تعليل ذلك أن الماء الساقط من أعلى إلى أسفل، يغسل عن غلاف البذرة بعض المواد من مضادات الإنبات، فغلاف كثير من البذور تغطيه مثل هذه المواد وهي قابلة للذوبان في

الماء، ومثل هذه البذور لا تنبت إلا إذا غسل الماء هذه المواد، ويمكن إتمام ذلك بوساطة تيار بطيء من الماء يهبط في التربة من أعلى إلى أسفل مثلما يحدث في الظروف الطبيعية عندما تتساقط مياه الأمطار الغزيرة. أما المياه الصاعدة في التربة من أسفل إلى أعلى تحت تأثير الخاصة الشعرية ونحوها فلا تغسل عن البذور هذه المواد التي تمنع الإنبات. وفي بعض الأحوال الأخرى تمنع ملوحة التربة إنبات البذور، فإذا جاءها المطر غسل ماؤه هذه الملوحة، وتمكن البذور من الإنبات. وبذور الحشائش الصحراوية لا تنبت إلا بعد مضي عدة أيام على سقوط المطر، كأنما تستوثق من أن رطوبة التربة ليست عارضة بل مستمرة، الأمر الذي يتأتى بعد المطر الوافر.

وأنواع أخرى من البذور لا تزول عنها المواد المانعة للإنبات إلا بفعل أنواع من البكتيريا، ولا يتم ذلك إلا في تربة رطبة لفترة غير قصيرة. وبعض البذور تظل ساكنة لا تنبت حتى يسقط عليها المطر عدة مرات.

وتوجد في الوديان الصحراوية، وهي مجاري أنهار جافة، نباتات مختلفة، وتحتاج لشروط إنبات مختلفة. فلبذور بعضها قصرة متينة يحتاج شقها إلى قوة شديدة، مثل شجيرات السيسبان الأمريكي وخشب الحديد واليحموم. ويمكن أن تظل بذور السيسبان مغمورة في الماء لمدة عام دون أن يظهر عليها أثر للإنبات، على أن الجنين ينمو وتنبت البذرة بعد يوم واحد إذا شقت القصرة. وفي الظروف الطبيعية تتشقق القصرة المتينة نتيجة الاحتكاك بالرمال والحصى. والبادرات تظهر بعد أيام قليلة من المطر الهاطل الذي يدفع في طريقه الحصى والطمي إلى قاع الوادي. ومن اليسير إثبات أن البذور التي أنتجت هذه البادرات، نبتت نتيجة الاحتكاك المستمر بين البذور وحبات الرمل وهي مندفعة جميعاً مع الطمي والماء. وعلى سبيل المثال نذكر أن بادرات اليحموم لا

تنبت قرب الشجيرات الأم، بل على بعد يتراوح بين ١٥٠ و ٣٠٠ قدم في إتجاه مجرى الماء. ويبدو أن لهذه المسافة أهمية خاصة، فالبذور التي تبقى قرب الشجيرة الأم لا تتعرض للاحتكاك مع الرمل بدرجة كافية لشق القصرة، كما أن البذور التي تدفعها السيول إلى أبعد من ذلك يسحقها طول الاحتكاك المستمر مع الرمل والحصى فلا تنبت.

ولا تكاد تظهر الأوراق الثلاث الأول لبادرة شجيرة اليحموم حتى يتوقف النمو الظاهر فوق سطح الأرض، ويستمر نمو الجذر متعمقاً حتى يصل إلى موارد الماء الأرضي. وعندما يتم ذلك تستأنف الساق نموها مع استمرار نمو الجذر، على أن نمو الجذر قد يبلغ خمسة أضعاف نمو الساق والقليل من هذه البادرات يقتله الجفاف، والكثير منها تقتلعه السيول الجارفة، والأقل منها وهو أكبرها حجماً وسناً يثبت لتدفق الحصى والرمل والطمي العارم من النجاد إلى البطاح. ويمكن تبيان قدرة شجيرة اليحموم على استغلال كل قطرة من الماء بالتجربة التالية:

ملئت آنية عمقها ثماني أقدام بالرمل المبلل بمحلول غذائي، ثم وضعت البذور مشقوقة القصرة قرب سطح الرمل. أسقط على السطح رذاذ من ماء المطر لمدة قصيرة. نبت في هذه التجربة ست بذور، وماتت منها بادرة واحدة وبقيت خمس بادرات استمرت تنمو حتى بلغ عمرها ١٨ شهراً في جو حار رويت خلالها مرة واحدة، وكان نمو هذه البادرات أحسن من نمو تلك التي كانت تروى يومياً.

وقام مؤلف هذا الفصل بتجارب تفصيلية على إنبات البذور، وتجمعت لديه بيانات ومعلومات كثيرة عن ظروف الإنبات. منها– على سبيل المثال– أن رختين من مطر يبلغ مقدار كل منهما ٠.٣ بوصة تكفيان لإحداث الإنبات إذا

لم تزد الفترة بينهما على يومين. وأن أثر المطر الساقط في الظلام يختلف عن أثر المطر الساقط في النهار. ومن أعجب ما أظهرته هذه التجارب أن الإستجابات الخاصة للبذور تختلف بالنسبة لدرجات الحرارة. ففي إحدى التجارب عوامل خليط من بذور نباتات مختلفة بالماء ثم وضعت في صوبة دافئة فلم تنبت منها غير النباتات الصيفية، بينما بقيت بذور الحوليات الشتوية ساكنة، فإذا وضعت هذه البذور في مكان بارد نبتت الحوليات الشتوية وبقيت الأخرى ساكنة. ومن ذلك يظهر أن البذور لا تنبت إلا إذا تهيأت الظروف التي تلائم نمو البادرات والنبات الناضج (درجة الحرارة والمطر)، وحيث إن هذه النباتات الصحراوية لا يمكن أن تعتمد على ما لعله يسقط من المطر فيما بعد، فهي لذلك لا تنبت إلا إذا استوثقت من أن لديها من ماء المطر ما يهيئ لها الحياة والبقاء.

وقد أوضحت دراسات المؤلف أيضاً، أن عدداً قليلاً لا يجاوز ١٠% من البذور قد ينبت بعد النذر اليسير من المطر، ولكن بادرات هذه البذور لا شك هالكة قبل أن تصل إلى مراحل النضج والإثمار، بينما تقدر نسبة البادرات التي تستمر بها الحياة حتى تورق وتزهر وتثمر بحوالي ٥٠% من بادرات البذور التي تنبت بعد المطر الكافي، وقد يبلغ عدد البادرات النامية آلافاً عديدة في الياردة المربعة، إلا أنها رغم التزاحم والتنافس على موارد الماء والغذاء والضوء لا تقتل بعضها بعضاً، ولو أنها لا تصل إلى الحجم الطبيعي. وفي بعض الدراسات التفصيلية وجد أن ٣٠٠٠ نبات ناضج ينتمي إلى عشرة أنواع مختلفة تكسو مساحة يقدر عدد البادرات التي نبتت فيها بحوالي ٥٠٠٠ بادرة.

وبرغم هذه الآلاف من النباتات المتزاحمة، فقد أزهرت جميعاً وأثمرت ولو أنها بقيت صغيرة الحجم. وليست هذه الظاهرة مقصورة على النباتات الصحراوية؛ ففي حقول الأرز والقمح وقصب السكر، وفي الأمكنة التي تزدحم

فيها البذور في الحقل، تنمو البادرات جميعاً معاً، وقد تكون نحيلة ولكنها لا تموت، وقد يحدث أن تنمو بعض الحشائش البرية في الحقول حتى لتزحم المحاصيل وتقضي عليها، ولكن ذلك لا يحدث عادة، فإذا حدث يكون السبب إما أن المحصول زرع في غير موسمه، وإما لأن المناخ لا يناسبه. أي أن المحصول لم يستطع أن ينافس الحشائش البرية التي يلائمها الجو أو الموسم.

من هذا يظهر لنا أن ما يقال عن الصراع المروع في سبيل البقاء، وأن البقاء للأصلح، وغير ذلك مما توصف به الحياة الطبيعية، ليس صحيحاً كله. فبين النباتات الحولية لا يكاد يوجد صراع على أسبقية أو بقاء، فحيثما تنبت بادرة النباتات الحولي فإنها تنمو وتنضج وتثمر. أي أنه إذا اتيحت لبذور النبات الحولي فرصة الإنبات، ولبادراته الاستقرار، فإن النبات لا يتعرض بعد ذلك لظاهرة الاختيار الطبيعي. ولعل ذلك يعلل أن الكثير من الحوليات الصحراوية لا تختص بصفات مميزة مما يعين على ظروف الحياة الصحراوية.ولا يعني هذا أن ظاهرة التطور الطبيعي لم تؤثر في نشأة الحوليات، ولكنه يعني أن التطور أثر على صفات البذور وطرق الإنبات أكثر مما أثر على صفات النبات الناضج.

وقد أضفت ظاهرة الاختبار الطبيعي على هذه النباتات إمكانيات مختلفة للإنبات. وفي الوقت نفسه تجعل البذور تبطئ في الإنبات ما لم تتوفر الظروف التي تلائم النبت الصغير وتتيح له فرصة الحياة الكاملة. وعكس ذلك ظاهر في حوليات المحاصيل التي يختارها الإنسان، إذ يفضل النباتات التي تنبت بذورها في يسر وسرعة، ونظراً لهذا العامل الإنساني الاقتصادي فإن أهمية الإنبات وظروفه وتأثيره على بقاء النبات قد أسئ فهمه.

ولنعد الآن للمناقشة التي بدأناها في أول الكلام: هل تمكننا دراسة بيئة النباتات الصحراوية في تفهم البيئة الإنسانية والسلوك البشري؟ هناك على

الأقل ظاهرة أخلاقية تبرزها دراسات البيئة الصحراوية؛ في الصحراء حيث تتحمل النباتات كافة الجدب والجوع وقلة الماء، لا نجد التنافس والتناحر القاسي الذي يقضي فيه القوي على الضعيف. بل لعل العكس هو الصحيح، فالأرض والضوء والماء والغذاء والمناخ يشارك فيها الجميع على السواء، فإذا لم يوجد ما يكفي لنمو النباتات جميعاً نمواً باسقاً فهي جميعاً تنمو نحيلة. هذه الصرة الواقعية الصادقة تختلف أشد الاختلاف عما يقول به الكثيرون، إن منهج الطبيعة هو تنافس الأفراد حتى الموت. والواقع أن التنافس أو القتال الدموي الذي يمارسه الجنس البشري نادر في الطبيعة؛ فمن القليل النادر أن تقتتل مجموعات أفراد النوع الواحد، حتى الحيوانات المفترسة نجدها تفترس أنواعاً غير أنواعها، أي أنها لا تأكل بعضها بعضاً كما يفعل الناس من آكلي لحوم البشر. أما النباتات مثل التين الخناق الذي ينمو في الغابات الإستوائية ويلتف حول غيره من النباتات ويظل يخنقها حتى الموت (على نحو ما سبقت إليه الإشارة) فهي شاذة ونادرة جداً.

وفي الغابات الكثيفة نجد أن القلة القليلة من الضعاف تموت تحت وطأة المنافسة مع الأقوياء، والأشجار الشامخة لا تقتل العشب والشجيرات النامية في ظلها، ولو أنها قد تعطل نموها نحو النضج، أو قد تمنع إنبات المزيد من بذورها. وقد لوحظ في إحدى غابات جزيرة جاوة أن الشجيرات الصغيرة ظلت محافظة على حياتها لفترة أربعين سنة وإن لم تزدد نماء وحجماً.

في الغابات الإستوائية تنمو مئات الأنواع من الأشجار صغيرها وكبيرها، وهذا التنوع الرائع يمثل إحدى الصفات الرئيسية للغابات.

وقد يكون نمو بعض الأشجار أسرع فيزداد إرتفاعها وتتكاثر أغصانها ويمتد طولها وعرضها دون أن يكون لذلك أثر واضح على فرص النمو وإستطالة

الحياة لغيرها من الأشجار، وإلا لقل عدد الأنواع ولكان التطور الطبيعي للأشجار أن تزداد إرتفاعاً وطولاً. ولكن الملاحظ أن أكثر الأشجار يوجد في أحراش المناطق الدافئة وليس في الغابات الإستوائية الكثيفة حيث لا توجد أشجار شاذة الطول أو الحجم.

ومن هذا يتبين أن الإختبار الطبيعي لا يعتمد على قدرة النبات على النمو السريع، ولكن على قدرة النبات على احتمال الظل والضوء القليل. ويرتبط الجلد على البقاء في أذهاننا بفكرة استئصال الكائن الأصلح للكائن الأقل صلاحية، الأمر الذي يذكرنا بفكرة الحرب الباردة، ولكن الواقع أن الحرب الباردة لا توجد في الغابة، كما لا توجد فيها اعتداءات غاشمة، وأغلب النباتات لا تملك وسائل خاصة للقتال، بل تنمو النباتات معاً، تشارك فيما لعله يتاح لها من الضوء والماء والغذاء. فإذا قل الزاد عن احتياجاتها جميعاً بدأت المنافسة.

ويبدو أن التحكم في الحياة، سواء في الغابة أو في الصحراء، يعتمد على التحكم في إنبات البذور؛ فالمنافسة والاختيار يحدثان في مرحلة الإنبات حتى يمكن أن يكون الكلام في دنيا النبات عن تحديد الإنبات كما يكون الكلام في دنيا الإنسان عن تحديد النسل.

ويبدو أن التطور الطبيعي خلال الحقب الطويلة قد استأصل النباتات التي لا تقدر على المنافسة، حتى أصبحت فرصة الحياة متاحة للنباتات جميعاً سواء منها سريعة النمو أو بطيئة النمو. والكفاح من أجل البقاء بين النباتات القوية المتأصلة لا يمنعها من النمو، إنما قد يمنع الأنواع الجديدة الوافدة التي قد تنبت في الوقت غير المناسب، أو التي تضعف قدرتها على ممارسة عمليات التمثيل الضوئي، أو التي لا تحتمل الصقيع وغيره من العوامل غير الملائمة. وهذا يعلل

ظاهرة بارزة وهي أن قلة من النباتات تموت من شدة جفاف الصحراء أو من قلة الضوء في الغابة او من شدة البرد في المناطق الباردة.

والموعظة التي يمكن إستخلاصها من هذا الكلام هي أن الحرب التي يمارسها الجنس البشري لا يوجد لها مثيل في الطبيعة، ولا يوجد ما يبررها في مبادئ التطور والاختيار الطبيعي. فإذا أردنا أن نصور عوامل التحكم في المجتمع النباتي بالمصطلحات البشرية كان كلامنا عن تحديد النسل.

الفصل الرابع

كيمياء العلاقات الاجتماعية في عالم النبات

النبات كالحيوان لا يعيش وحده، بل في جماعات يتأثر الفرد بوجود الأفراد الآخر. ولقد حظي علم الاجتماع النباتي بدراسات مستفيضة في السنوات الأخيرة، وزادت معرفتنا بأصوله، فتبين أن أفراد المملكة النباتية يتنافسون فيما بينهم على الغذاء والضوء والماء وغيرها، كما تتضمن علاقاتهم الإجتماعية ضروباً أحكم من التقاتل ومن التعاون. وسيتناول هذا الفصل إحدى الظواهر الفريدة للعلاقات النباتية أظهرتها الدراسات الحديثة، وهي أن بعض النباتات تتدرع بأسلحة كيميائية لمهاجمة جيرانها.

وقبل أن نستطرد في عرض أوجه هذه الظاهرة، لابد أن نشير إلى بعض مبادئ علم البيئة النباتية، أي إلى العلاقات بين النباتات وبينها وبين ظروفها البيئية. عندما ندرس جماعة نباتية نلاحظ أنها تتألف من نباتات لا تتبع نوعاً واحداً بل أنواعاً كثيرة، تعيش على نحو من التقارب. ومن اليسير أن ندرك سبب تجمع نباتات النوع الواحد في مكان ما. ذلك لأن لها نفس الاحتياجات التي تلائم نموها، أو على الأقل لأن لها القدرة على احتمال الظروف الطبيعية لبيئة المكان. ولكنا نتساءل عن العوامل التي تحدد نمو نباتات الأنواع المختلفة في مكان واحد.

ومما يساعدنا على إدراك أسباب ذلك، أن مجموعات معينة من الأنواع النباتية توجد معاً في نفس المكان، ويتكرر وجودها معاً حيثما وجد المكان الذي تتاح فيه نفس الصفات البيئية. وتكرار وجود هذه المجموعات يتيح المجال

لتصنيفها وتعريفها وتسميتها باعتبارها مجتمعات نباتية أو عشائر شأنها في ذلك شأن أنواع النبات والحيوان التي يتم تصنيفها وتعريفها وتسميتها. ومن ناحية أخرى توجد أنواع لا تأتلف أبداً في نفس العشيرة على الرغم من تشابهها في التوزيع الجغرافي، ذلك لأن احتياجاتها مختلفة أو لغير ذلك من الأسباب. حتى ليمكن أن يقال إن مواطني العالم النباتي ينتظمون في عشائر محددة في كل منها ألفة داخلية بين أفرادها، ولكنهم لا يختلطون مع الأغراب من أفراد العشائر الأخرى.

والواضح أن أهم العوامل التي تحدد صورة الحياة النباتية، هي المناخ والأحوال الطبيعية؛ فالأنواع النباتية التي تعيش معاً، تلائم نموها ظروف متشابهة من درجات الحرارة والضوء والماء والتربة، وتتجلى تلك العلاقة عند دراسة نباتات المناطق ذات الصفات الخاصة كالأرض الردغة، والمنخفضات المالحة، والمراعي الجبلية، وشواطئ البحار، والصحاري الجبلية والصخرية. ومما لا شك فيه أن كثيراً من العشائر إن لم تكن جميعاً، يتأثر تركيبها بظاهرة اختبار النباتات للمواقع التي تتفق ظروفها البيئية مع احتياجاتها. على أن جهود العلماء والباحثين ما تزال تتقصى البحث عن العوامل الطبيعية التي تحدد حياة كل عشيرة نباتية على حدة. وهناك أوجه كثيرة لتأثير نباتات ما على حياة نبات آخر مجاور له في العشيرة، وأوضحها هي التنافس على بعض الاحتياجات الأساسية للنمو مثل الضوء أو الماء أو الأملاح الغذائية.

وربما سمي ذلك النزاع الاقتصادي، وعلى ذلك فإن النقص في مواد التربة الغذائية أو رطوبة التربة قد يحدد عدد النباتات التي يمكن أن تعيش في حدود مساحة معينة فإن نمت شجرة في منطقة أحراش، فكثيراً ما يغطي ظل الشجرة العالية الشجيرات قليلة الإرتفاع فتفقد تعرضها لضوء الشمس مما قد يسبب

عجزها عن استمرار النمو. هذا الوجه الإقتصادي لظاهرة التنافس تتغير حدته تبعاً لطبيعة الأنواع النباتية كاختلافها في إرتفاع الجذوع، وتعمق الجذور في طبقة واحدة من الأرض أو توزعها في طبقات مختلفة، إلى غير ذلك. ولعل حكمة علم الاجتماع النباتي، هي أن المجتمعات النباتية الراسخة تتكون من أنواع نباتية يقل بين أفرادها التنافس الإقتصادي.

على أننا نهدف أن نعرض هنا لنوع من العلاقات المتبادلة بين النباتات لا تعتمد على ظاهرة التنافس بل تعتمد أساساً على أن نوعاً معيناً من أنواع النباتات ينتج مادة كيميائية يطلقها إلى التربة ويؤثر بها على نمو غيره من الأنواع وسلامتها. والنباتات التي تعلن على غيرها مثل هذه الحرب قد لا تكون في منافسة معها من أجل الغذاء أو غيره من احتياجات الحياة، بل يبدو كأن العداء من سليقتها. وقد عرفت هذه الظاهرة منذ زمن في مجال الكائنات الدقيقة، وكلنا يعلم أن بعضها ينتج مواد ذات أثر سام على غيرها، ففطر العفن الأخضر ينتج مادة البنسلين وهو مركب كيميائي له أثر شديد السمية على عدد كثير من الكائنات الدقيقة. وتبع اكتشاف البنسلين بحث عن أمثاله فتم التعرف على عشرات من هذه الكيميائيات التي تنتجها الكائنات الدقيقة المختلفة، وأمكن استعمال بعضها كالبنسلين والأستربتوميسين في علاج الأمراض الحيوانية والإنسانية.

أما قدرة بعض النباتات الراقية على إنتاج مثل هذه المواد، فكانت فكرة تراود علماء النبات دون تحقق. فقد ذكر العالم السويسري أوغسطين دي كاندول، في مستهل القرن التاسع عشر، أنه يبدو أن نمو الضهياء يعطل نمو الشوفان، وعلل ذلك بوجود مادة كيميائية خاصة تفرزها الضهياء. وقد قام بعض العلماء الإنجليز في مستهل هذا القرن بتجارب لتمحيص هذه الفكرة.

وفي إحدى التجارب كانوا يزرعون أشجار التفاح في أوعية تروى بماء منصرف عن أصص مزروع بها حشائش. وقد أظهرت هذه التجارب أن الحشائش قد أضافت إلى الماء مادة تثبط نمو أشجار التفاح. ثم عاود تلك الدراسة عالم أمريكي استطاع أن يستخلص من أنواع التربة المختلفة أربعة مواد ذات تأثير سام على نمو النبات. على أن هذه الدراسات الأولى جميعاً لم تثبت أن نوعاً معيناً من النباتات البرية أو المزروعة تعطل نموه بتأثير مادة أمكن التعرف عليها وتحديد النبات التي ينتجها، وجاء إثبات ذلك في السنوات الأخيرة.

وقد لاحظ العالم الألماني بود، وكان يعمل في إحدى حدائق النباتات الطبية، أن النباتات النامية في الأرض الواقعة على جانبي صف من نباتات الشيح الرومي. كانت إما شديدة الوهن وإما ميتة. ويمتد هذا الأثر القاتل لمدى متر على كل من جانبي صف شجيرات الشيح الرومي.

ولم يكن من المقبول أن يعزى ذلك الأثر إلى ظاهرة التنافس، فقد كان هناك شجيرات من أنواع أخرى تماثل الشيح الرومي في الحجم والنمو دون أن يكون لها مثل ذلك الأثر المدمر على النباتات المجاورة.

وأثبت هذا العالم أن على أوراق نبات الشيح الرومي غدداً شعرية تفرز مادة تسمى "إبسنتين" وهي مركب كيميائي يقبل الذوبان في الماء وله تأثير سام على بعض أنواع النباتات. فإذا سقط المطر غسل هذه المادة عن الأوراق وأسقطها إلى التربة، وكلما تكرر سقوط المطر تكرر تزويد التربة بهذه المادة السامة. وقد ظهر أن أثر الإبسنتين يختلف من نبات إلى آخر إذ يبدو أن لبعض الأنواع النباتية القدرة على احتمال أثره، وهذه النباتات- دون غيرها- تستطيع أن تعايش الشيح الرومي.

مثال آخر لهذه الكيميائيات. يشاهد في الصحاري الحارة بجنوب غرب

الولايات المتحدة، وجود صحبة من النباتات الحولية تنمو حول كل شجيرة. ولا شك أن أسباب ذلك ما يتيحه ظل الشجيرة من تخفيف لوطأة الحرارة والجفاف الصحراوي، وما تضفيه الأوراق المتساقطة إلى الأرض من مواد عضوية تزيد من ثرائها. على أن شجيرة تسمى الأنسيليا تبدو شاذة عن هذه القاعدة، إذ تحوطها دائرة تبدو مجرمة على النباتات الأخرى، إلا في بعض الأحوال الخاصة. وقد جمعت أوراق هذه الشجيرة الساقطة على الأرض لتكون موضع الدراسة المعملية، وأجريت تجربة بأن غطى سطح الرمل في أصص الطماطم وغيرها بهذه الأوراق. وثبت أن وجود أوراق الإنسيليا- ولو بكميات قليلة- يسبب تعطيل النمو أو موت النباتات المزروعة. وقد أوضحت الدراسات تخصص التأثير السام لأوراق الإنسيليا، مثلها في ذلك مثل أوراق الشيح الرومي، فليس لها تأثير على نباتات الإنسيليا نفسها، ولا نبات عباد الشمس، ولا الشعير. ولكن تأثيرها واضح جداً على بعض النباتات كالطماطم، وأمكن بالمعاملات الكيميائية استخلاص مركب جديد من أوراق الإنسيليا اسمه ٣- إسيتيل- ٦- ميثوكسي بنزالدهيد، وأمكن تحضير هذا المركب معملياً، وظهر للمادة المصنعة نفس تأثير المادة الطبيعية. وقد دلت التجارب أيضاً على أن أوراق الإنسيليا، الساقطة عن الفروع تحتفظ بصفاتها السمية لمدة تصل إلى عام، إلا إذا سقط عليها المطر، لأن الماء يغسل عنها هذه المادة ويحملها إلى الأرض.

هذا هو تعليل عدم وجود النباتات الحولية في مصاحبة شجيرات الإنسيليا. ونذكر في هذا المقام أن نباتات الإنسيليا تنمو أيضاً على سفوح بعض الأماكن الجبلية حيث تتعرض الأرض المنحدرة إلى السيول التي تكتسح في طريقها الأوراق الساقطة على الأرض. وفي مثل هذه الأماكن قد توجد أنواع عديدة من الحوليات وغيرها في صحبة شجيرات الإنسيليا.

أما أشجار الجوز الأسود، فالمعروف أن لها أثراً مهلكاً على نمو النباتات المحيطة. وتعليل ذلك أنها تنتج مادة كيميائية لها أثر سام، وأثبتت التجارب أن جذور الجوز وأوراقه تحوي مادة الججلون– وهي مادة سامة للطماطم– والبرسيم الحجازي، وأثبتت أيضاً أن هذه المادة هي سبب التأثير السام لأشجار الجوز الأسود على النباتات البرية، وما زال هذا الموضوع في حاجة إلى مزيد من الدراسة التفصيلية.

ولا يقتصر هذا التأثير الكيميائي على أن نوعاً من النبات يثبط نمو غيره من الأنواع، وقد ثبت أن أنواعاً من النبات تنتج مركبات كيميائية تثبط نمو بادرات نوعها. ومثال ذلك نبات أقحوان المطاط الذي ينمو في الصحاري الأمريكية. فإذا زرع هذا النبات في أصص المعامل، فإن جذوره تخرج مادة ذات أثر سام على بادرات أقحوان المطاط نفسه. وعندما تم تحضير هذه المادة في صورتها النقية ظهر أنها حمض السيناميك، كما ظهر أن لها أثراً شديد السمية، إذ يكفي وجود جزء واحد من ٢٠٠٠٠٠ جزء من التربة ليسبب أثر واضح على تقليل نمو البادرات. فلماذا ينتج نبات ما مادة ذات أثر شديد السمية على نوعه، وأقل أثراً على الأنواع الأخرى؟ نذكر في هذا الصدد أن الشجيرات الصحراوية تنمو متباعدة كأنها تقتسم في عدل وتساوٍ الماء القليل الذي تتيحه ظروف الصحراء. وفي الطبيعة يندر وجود بادرات أقحوان المطاط بجوار النباتات الناضجة، وهي حالة عامة بالنسبة للكثير من الشجيرات الصحراوية. وفي بعض التجارب نقلت بادرات أقحوان المطاط إلى جوار نباتات ناضجة، فسرعان ما ذوت وماتت.

وقد أمكن التحقق من أن ذلك يرجع إلى الأثر المثبط للنبات الناضج على البادرات، حتى يمكن أن يقال إن النبات يمنع المنافسين الصغار من النمو

حتى لا يقاسموه الماء والغذاء القليل.

ولكن التفاعل الكيميائي بين النباتات لا يتسم على الدوام بهذه الفظاظة، فهناك نباتات تنتج مواد كيميائية تنشط نمو غيرها ولا تثبطه. مثال ذلك البقوليات التي تثري الأرض بمواد نتروجينية تتاح لغيرها من الأنواع النباتية المصاحبة. ومثال آخر، شوهد في غابات جاوة أن لكل نوع من الأشجار مجموعة خاصة من النباتات المتعلقة التي تنبت بذورها على الفروع أو الجذوع وتنمو وتعيش عليها. وهذا التخصص في العلاقة بين نوع معين من الشجر ومجموعة من المتعلقات قد يدل على أن الشجرة تفرز مواد خاصة تنشط إنبات بذور متعلقات خاصة.

ومن الواضح أن الأمر يحتاج إلى مزيد من الدراسة المستفيضة. لاكتشاف الحدود الصحيحة للتفاعلات الكيميائية فيما بين النباتات الراقية، والظاهر أن إنتاج المواد المثبطة للنمو أو السمية التأثير أمر شائع في دنيا النبات. والأساس طبعاً أن هذه التفاعلات الكيميائية بين النباتات ذات صلة بعوامل التنافس، وهي أعم الظواهر وأكثرها شمولاً في العلاقات النباتية. والتناحر أو التعاون الكيميائي وجه واحد من أوجه متعددة للتفاعلات الكيميائية المعقدة والتي تحدد الأسس الإجتماعية للمجتمع النباتي.

الفصل الخامس

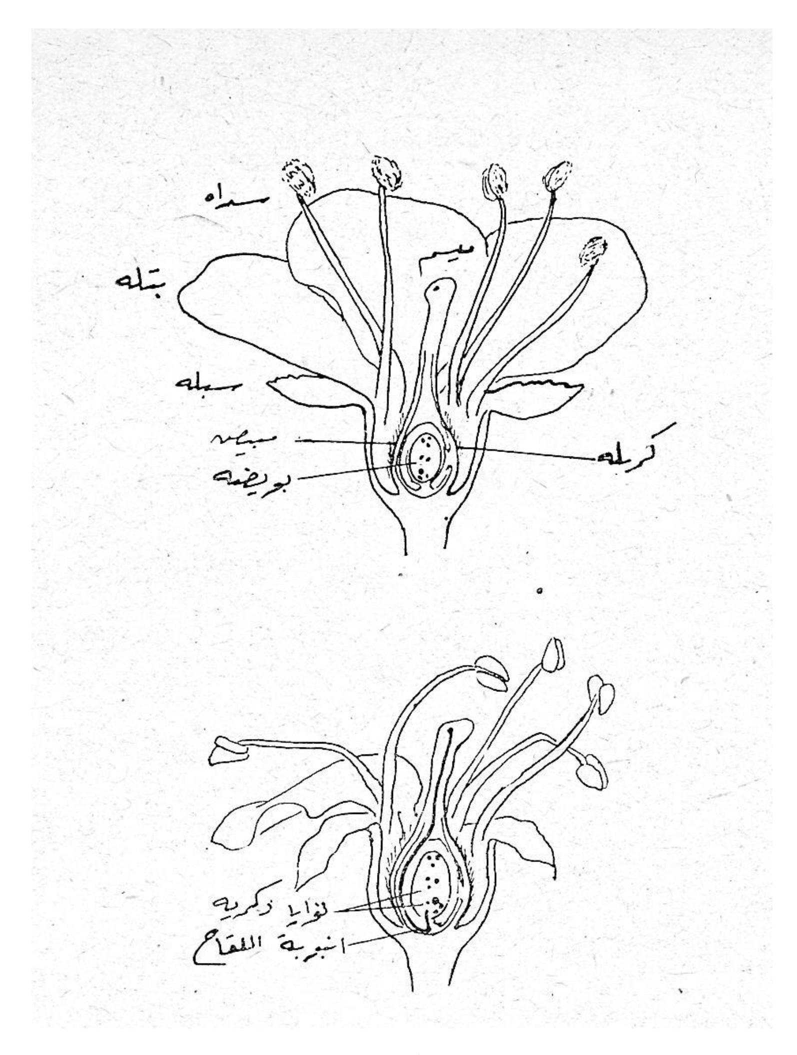
إخصاب الأزهار

ما هي الزهرة؟ وما هو تركيبها وكيف تقوم بوظيفتها، وكيف تكونت الأزهار وتطورت في أكثر من ١٥٠٠٠٠ نوع نباتي تنمو حالياً على الأرض؟ ما هو المغزى البيولوجي للزهرة؟

ظلت هذه الأمور غامضة على الذهن البشري، رغم أن البشر يعيشون في دنيا الأزهار منذ كانوا. وبعد جهود موصولة بذلها كثير من علماء النبات في بقاع العالم كافة، أصبح في إمكاننا القول إن الغموض قد انقشع قليلاً.

الأزهار هي أجهزة التكاثر في النباتات. وتتكون الزهرة أساساً من أسدية (الأعضاء المذكرة) تحمل حبوب اللقاح، وكرابل (الأعضاء المؤنثة) تحمل البويضات. وللكرابل مياسم تتلقى حبوب اللقاح.

وعندما يتم التزاوج تنتج البذور. وتحمل أغلب الأزهار العادية الأعضاء المذكرة والأعضاء المؤنثة معاً في الزهرة الواحدة. وقد يبدو من اليسير أن تلقح الزهرة نفسها ما دامت الأسدية والكرابل معاً، ولكن الواقع أن التلقيح الذاتي لا يتسنى لأغلب الأزهار، بل تأتي للزهرة حبوب اللقاح من نباتات أخرى من نفس نوعها. هذا التلاقح ينطوي على مزايا من ناحية التطور، لأنه يجمع عوامل وراثية مختلفة (من الأبوين) وينتج عنه ذرية أكثر تنوعاً ومرونة.



(شكل ٩)

إخصاب الزهرة يمثله رسمان تخطيطيان لزهرة المشمش. الأول للزهرة المتفتحة وقد تلقى الميسم حبة لقاح. والثاني يمثل الأنبوبة الممتدة عن حبة اللقاح تشق طريقها في أنسجة الكربلة حتى تصل إلى البويضة فتفرغ فيها نواتان ذكريتان، الأولى تتحد مع البيضة فينتج الجنين، والثانية تتحد مع النواة الوسطى وينتج عن ذلك نسيج الأندوسبرم الذي يختزن فيه الغذاء، وفي هذه المرحلة تذبل البتلات.

وقد يبدو هذا التلاقح يسيراً في دنيا الحيوان، فالذكور والإناث تدفعها الرغبة في التزاوج إلى السباحة أو الزحف أو الطيران بحثاً عن القرين، حتى يتم اللقاء. ولكن اجتماع نباتين مزهرين مربوطين في الأرض بجذورهما، يبدو مستحيلاً مالم يتدخل طرف ثالث ليحمل حبوب اللقاح من زهرة إلى الميسم في زهرة أخرى. وقد يتولى هذه المهمة الريح أو تيارات الماء أو الحشرات أو غيرها من الحيوانات.

ومن الواضح أن ذلك لا يتم إلا أن يكون في هذا العمل فائدة لمن يحمل اللقاح، أو أن يكون عملاً تلقائياً لا مناص عنه. وتركيب أغلب الأزهار يتلاءم مع وسيلة اللقاح التي تمارسها. فالأزهار المختلفة الأشكال والألوان والتركيب وغير ذلك من الصفات تتناسب مع طرق اللقاح المختلفة حتى ليمكن تصنيف الأزهار جميعاً إلى عدد من المجاميع تتميز كل منها بوسيلة خاصة لانتقال حبوب اللقاح، فيقال أزهار النحل، وأزهار الفراشات، وأزهار الخنافس، وأزهار الطيور، وأزهار الخفافيش، وأزهار الرياح... إلخ.

ومن أزهار النحل الأراشيد والبربينا والبنفسج والأخيليا الزرقاء والعايق والبيش والسيسم وكثير من نباتات العائلة الشفوية والعائلة البقلية وغيرها. وتحوي كل هذه الأزهار رحيقاً تكافىء به النحل، وتكاد تعلن عن نفسها بألوان البتلات الزاهية، وعطورها الزكية.

والنحل وأزهار النحل متلائمة في التركيب البيولوجي وفي طبائع الحياة. فأغلب أزهار هذه المجموعة زرقاء أو صفراء أو خليط من هذين اللونين، ودلت التجارب على أن قدرة النحل على الإبصار محدودة بالجزء من طيف الضوء الذي يشمل هذين اللونين، والنحل لا يبصر اللون الأحمر.

ويستجيب النحل للروائح العذبة والعطرية والنعناعية، ولا يستجيب قط

للروائح القبيحة. والنحل يطير خلال النهار، وخلال النهار تفتح أزهار النحل وتغمض ليلاً. ومن عادة النحلة إذا جاءت لزيارة زهرة أن تهبط على إحدى بتلاتها، وفي أغلب أزهار النحل توجد بتلة بارزة ومهيأة كأنها رصيف خاص لهبوط النحلة. ثم تتقدم النحلة نحو مناهل الرحيق وهي في الغالب عند قاعدة البتلات، وتمد لسانها الطويل ليلعق الرحيق، الأمر الذي لا تستطيعه أغلب الحشرات الأخرى. وبينما النحلة تلعق الرحيق، تحتك شعيرات جسمها بالأسدية فتتعلق بها حبوب اللقاح، بل إن تركيب أسدية بعض أزهار النحل يشبة الرافعة، وللرافعة جزء يشبه الزناد تدفعه النحلة في طريقها، فتعفر حبوب اللقاح أجزاء معينة من جسم النحلة. فإذا انتهت النحلة من زهرة، طارت إلى زهرة أخرى. وللنحلة غريزة تحددها بأزهار نوع واحد في الوجبة الواحدة، وتتعرف على النوع بشكل أزهاره ولونها ورائحتها. هذا النظام يناسب النبات لأنه يحقق وصول حمل حبوب اللقاح إلى الزهرة المناسبة أي التي يمكن أن تفيد حبوب اللقاح. ولما كانت الأسدية والكرابل في زهرة واحدة، فإن النحلة في زيارتها تحمل إلى الزهرة كمية من حبوب لقاح زهرة أخرى، وتحمل عنها كمية من حبوب اللقاح تنقلها إلى زهرة أخرى وهكذا يتم هذا التلقيح الخلطي.

وتكثر نباتات أزهار النحل في الأجزاء المشمسة الجافة وشبه الجافة من المناطق المعتدلة. وهي الأجزاء من العالم ذات الجو الذي يناسب النحل. وبعض النباتات التي يلقحها النحل تعجز عن التكاثر في المناطق التي لا يوجد بها أنواع خاصة من النحل. مثال ذلك نبات البيش الذي لا يوجد خارج المناطق التي يوجد فيها النحل الزفاف.

والبرسيم الحجازي– وهو واحد من محاصيل العائلة البقلية– كثيراً ما يكون عقيماً في كاليفورنيا حيث يندر النوع الخاص من النحل في حقول الزراعة

الصناعية حيث ضجيج الآلات كثير.

أما أزهار الفراشات فهي كثيرة جداً، منها شب النهار والطباق والأخيليا الصفراء والطاطورة والعلوك وإبرة آدم والفلكس وبعض أنواع ورد المسا وكثير من الأراشيد والقرنفل وأنواع السوسن.

ولجميع أنواع فراشات التلقيح ألسنة طوال تلعق بها الرحيق، وفي واحد من هذه الأنواع يبلغ طول اللسان حوالي **٢٥** سنتيمتراً. وتختلف الفراشات عن النحل في أنها لا تحط على الزهرة أثناء تناولها الطعام إنما تظل ترفرف فوق الزهرة ولسانها الطويل يعب في الرحيق. وتجذب الفراشات نحو الزهرة شكلها ورائحتها، على أن أغلب الفراشات تطير عند الشفق وأثناء الليل، ولذلك فأكثر ما يجذبها الألوان البيضاء والشذى العبق. هذه الأزهار تتفتح قرب الغروب وفي أوائل الليل، وتغمض أثناء النهار والشمس طالعة. على أن بعض أنواع الفراش تتغذى أثناء النهار وتجذبها ألوان الأزهار الحمراء، وهي ألوان لا تراها أنواع النحل.

ويوجد رحيق أزهار الفراشات عند قاعدة أنبوبة التويج الطويلة حيث لا يناله غير الفراشات ذات اللسان الطويل. ويتناسب طول لسان بعض أنواع الفراش مع طول تويج الزهور التي يزورها.

والفراشات، مثل النحل، تتغذى في الوجبة الواحدة على أزهار نوع واحد من النبات. وأزهار الفراشات كثيرة الانتشار في المناطق الحارة والمعتدلة الدافئة، ولكنها لا توجد في المناطق المتجمدة الشمالية والجنوبية.

أما أنواع الذباب التي تتغذى على الأزهار فتنقسم إلى مجموعة طويلة اللسان، ومجموعة قصيرة اللسان. والذباب طويل اللسان يتغذى على رحيق

أنواع الأزهار التي يتغذى عليها النحل، لأنها تلائم تركيبها الجسدي وطبائعها وإدراكها الحسي، أما الذباب قصير اللسان فله نباتات متميزة يصح أن نسميها أزهار الذباب. والذباب قصير اللسان أنواع كثيرة تتبع بضعاً وثلاثين عائلة، وتمثل مجموعة متنوعة متباينة لا تميزها صفات معينة تتواءم مع الغذاء الزهري، وأغلبها يعتمد في غذائه على مصادر أخرى كالجيف والروث والدبال والدم وغيرها.

والأزهار التي تجذب الذباب تتميز بروائح تشابه ريح هذه المواد، والذباب ينجذب أساساً بحواس الشم دون حواس البصر التي تجذبها ألوان الزهور على نحو ما لاحظنا في أزهار النحل والفراشات. وأغلب أزهار الذباب باهتة اللون كريهة الرائحة، ومثال ذلك زهور نبات الرافليزيا الذي ينمو في الملايو ولها رائحة السمك المتعفن، وزهور نبات الأرم الأسود ولها رائحة البراز البشري، وغير ذلك أمثلة عديدة لزهور لها رائحة زيت السمك، أو رائحة الطباق المتعفن، أو رائحة الدبال.

ويمكن القول بأن تصرف الذباب قصير اللسان في علاقاته مع الأزهار لا يتسم بالهمة ولا المهارة بل بالغباء. فكثير من الأزهار التي ينقل الذباب عنها وإليها حبوب اللقاح لا تتيح لزوارها الرحيق، بل ينجذب الذباب نحو خطوط أو بقع براقة، ومثال ذلك نوع من السفرس، وعنب الثعلب، ونوع من الأراشيد يسمى الأوفريس.

وأزهار بعض أنواع الغاغة والأرم لا تقتصر على حرمان الذباب من الرحيق، بل تحبس الذبابة في التويج مدة يوم أو يومين وتغمرها بحبوب اللقاح، حتى إذا أفرج عنها طارت لتقع في مصيدة زهرية أخرى تتلقى منها حمولتها من حبوب اللقاح، وتغمرها بحبوب جديدة.

وقد عبر عن هذه العلاقات أحد علماء النبات قائلاً إن البون شاسع بين

لقاء الأزهار للنحل ولقاءها للذباب. فالنحل ذو الكفاءة والدأب يجد في الزهرة الرحيق وحبوب اللقاح والحماية، بل يجد محطاً معدا لنزوله، وتجذبه ألوان زاهية وشذى طيب. أما الذبابة الغبية فتجد مزالق تحت أقدامها وسجناً ولا رحيق بعد ذلك ولا غذاء.

وتوجد أزهار الذباب عادة في نباتات منطقة القطب الشمالي ومناطق الجبال العالية حيث يندر وجود النباتات التي يعتمد تلقيحها على حيوانات غير الذباب. وتوجد هذه النباتات أيضاً في ظل الغابات في المناطق الدافئة والحارة.

أما أزهار الخنافس فتجذب زوارها حملة حبوب اللقاح بالرائحة أكثر مما تجذبهم بالمنظر. وأغلب خنافس الأزهار لا تتميز بصفات خاصة تلائم التغذية الزهرية، والواقع أنها تعتمد أساساً على موارد أخرى للطعام كعصارة الشجر والثمار والأوراق والروث والجيف وغيرها. وربما جذبت الخنافس إلى الأزهار روائح ثمرية أو توابلية.

ويوجد نوعان رئيسيان لأزهار الخنافس: الأول له أزهار كبيرة متفرقة مثل المجنوليا والبشنين وخشخاش كاليفورنيا وفلفل كارولينا والورد البري، والنوع الثاني له أزهار صغيرة تتجمع في نورات مثل القرنوس والبيلسان وحشيشة النزف والعوسج وبعض أنواع الأرم والبقدونس وغيرها.

وعندما تزور الخنفسة هذه الأزهار لا تكتفي بالرحيق وغيره من عصارات الزهرة تلعقه، إنما تلتهم أيضاً البتلات والأسدية ولا ينقذ الكرابل من هذا الهجوم إلا أن تكون مدفونة تحت الحجرة الزهرية التي يكونها الكأس والتويج. وبعض هذه الأزهار تحبس زوارها ريثما يلتقط الميسم حبوب اللقاح، وتذري الأسدية بعض حبوبها على جسم الزائر السجين، ثم تفتح الزهرة مخرجاً تهرب خلاله الخنفسة. على أن لبعض أزهار الخنافس حجرة زهرية مفتوحة للزوار

جميعاً فتكون مكاناً تجتمع فيه أنواع من الحشرات الصغيرة.

وتكثر أزهار الخنافس في المناطق الحارة وتقل في المناطق الباردة.

والشائع أن الحشرات هي أهم الكائنات الحيوانية في المعاونة على عمليات نقل حبوب اللقاح من زهرة إلى زهرة أخرى. ولكن الواقع أن بعض أنواع الطيور قد تبز الحشرات وخاصة في بعض المناطق الحارة ونصف الكرة الجنوبي. فللطيور الطنانة أهمية خاصة في أمريكا الشمالية والجنوبية، وللتميرات أهمية خاصة في أفريقيا وآسيا، وللطيور آكلة العسل وطيور اللوريك أهمية خاصة في أستراليا. وغيرها الكثير من الطيور التي تزور الأزهار لتغتذى على رحيقها، أو على الحشرات التي تعيش في الحجرة الزهرية، أو على حبوب اللقاح.

وللطيور حاسة نظر قوية، وحاسة شم ضعيفة. ولذلك فأزهار الطيور تجذب زوارها باللون، وأغلبها كبير الحجم زاهي اللون والكثير منها لا رائحة له. وعين الطائر، مثل عين الإنسان، أكثر حساسية للجزء الأحمر من الطيف، وأقل حساسية للجزء الأزرق والبنفسجي. والألوان الغالبة في أزهار الطيور هي الأحمر والأصفر، ومثال ذلك الأخيليا الحمراء، والفوسكيه وزهر الآلام والكافور والتيل وبعض أنواع الباسلاء والصبير والأناناس والموز وغير ذلك. وهي أزهار كثيرة في المناطق الحارة والدافئة.

وتمتص الطيور الطنانة الرحيق وهي ترفرف بأجنحتها لدى الزهرة وأغلب أزهار هذه الطيور من النوع المتدلي. أما التميرات فهي تهبط على الزهرة وغالباً ما تكون الأزهار قائمة وبها موضع لهبوط الطائر الصغير. ويدس الطائر منقاره إلى داخل الزهرة مما قد يسبب تلفاً وتمزيقاً للأجزاء الداخلية، على أن المبيض غالباً ما يكون في وضع عميق تحت الحجرة الزهرية. والبتلات متلحمة وتكون أنبوبة تحوي كمية عظيمة من الرحيق الخفيف. وكثيراً ما يتلاءم طول الأنبوبة

وشكلها مع طول المنقار وانحنائه. والأسدية غالباً ما تكون زاهية اللون كثيرة العدد مقوسة نحو الخارج، حتى لتلمس صدور الطيور ورءوسها وهي تطعم. وحبوب اللقاح كثيراً ما تتماسك في سلاسل أو كتل لزجة، ولذلك فتكفي زيارة واحدة لنقل كميات من حبوب اللقاح تكفي لإخصاب عشرات بل مئات من البويضات.

وتظهر أهمية الطيور كعوامل للتلقيح من دراسة نبات السيسل الأمريكي (نبات من المكسيك) الذي تلقحه الطيور الطنانة. وينمو هذا النبات عقيماً ولا يتكاثر إذا نقل إلى أوربا حيث لا توجد الطيور الطنانة على كثرة زيارة النحل لأزهاره.

أما أزهار الخفافيش، فتلقحها أنواع من خفافيش المناطق الحارة، لها فم طويل ولسان يمتد، وأسنانها الأمامية قصيرة أو غير موجودة، وكل ذلك يلائم تغذي الخفافيش على الأزهار. وهي تطعم ليلاً، ويهديها إلى موضع الأزهار حاسة الشم الحادة. والخفاش يتسلق الزهرة، ويمسك نفسه إليها بمخالبه ثم يمد فمه ولسانه إلى الحجرة الزهرية ليمتص الرحيق أو يلتهم الحشرات الصغيرة التي توجد داخل الزهرة، وربما يمضغ حبوب اللقاح والبتلات أيضاً. وأغلب أزهار الخفافيش كبيرة غبراء اللون، ونباتاتها أشجار كبيرة. وتتفتح الأزهار ليلاً، وتجذب إليها الخفافيش رائحة كرائحة التخمر أو رائحة الفاكهة تفرزها الأزهار ليلاً. ومن أمثلتها أزهار الكلباش. والمشطورة، وشجرة الشمعة وكثير غيرها.

أما الأزهار التي يلاقحها الريح، فليس لها الألوان الزاهية ولا الروائح الخاصة ولا الرحيق ولا غيره مما يغري على الزيارة. بل إن أغلبها غير ذي تويج. أما الأسدية والمياسم فهي بارزة ومعرضة لتيارات الهواء. وتنتج الأسدية كميات هائلة من حبوب اللقاح الخفيفة الوزن الناعمة الملمس، مما ييسر ذروها

لمسافات بعيدة طولاً وعرضاً، حتى إن بعض هذه الحبوب أمكن جمعها عبر المحيط الأطلسي على بعد مئات الأميال من منابعها. والأعضاء المختلفة للتكاثر غالباً ما تكون في أزهار منفصلة، فالأزهار إما مذكرة وإما مؤنثة. وقد تكون الأزهار بنوعيها على الأجزاء المختلفة من النبات الواحد، أو قد تكون على نباتات مختلفة، فتكون بعض النباتات ذكوراً والأخرى إناثاً. والمياسم ريشية أو ذات فريعات كثة أو شحمية. ولذا فالحبوب التي يحملها الريح تلتصق بها. ومن البدهي أن حبوب اللقاح التي تذروها الرياح تتفرق حتى لا تقع على المياسم إلا آحاداً قليلة. ولذلك فالبويضات التي تخصب تعد بالآحاد في كل كربلة، حتى إن أغلب الأزهار التي تلاقحها الرياح تنتج ثماراً ذات بذور مفردة، مثال ذلك زهرة البلوط التي تنتج كرنة ثمرية بها بذرة واحدة، وزهرة النجيليات كالقمح والذرة والشعير وغيرها، تنتج حبة فيها بذرة واحدة.

وتكثر الزهور التي تلاقحها الرياح في المناطق الباردة والمناطق المتجمدة الشمالية والجنوبية، حيث لا تعيش أغلب حشرات التلقيح. ومن أمثلة النباتات التي تتلاقح بالريح، النجيليات والحلفاوات والأسل والبوط والحماض والزربيح والعنب والحريق والموز والحمراية والبندق والتامول والبلوط والحور وغيرها.

وتجمع بعض الأزهار بين صفات مجموعتين مما ذكرنا. فالذرة تلاقحها الريح عادة، ولكن النحل يزورها ويعاون في نقل حبوب اللقاح. وبعض أنواع الخلنج الأوربي يلاقحها النحل في الربيع، ولكن الرحيق يجف في أواخر الموسم ويكون نقل حبوب اللقاح بوساطة الريح.

وأزهار الفلكس تلاقحها في العادة الفراشات، على أنها تتلافح أحياناً بوساطة حشرات التربس. ولا شك أن التغير في وسيلة التلاقح قد حدث خلال التاريخ الجيولوجي للأرض، ومتابعة هذا التطور التاريخي يظهر لنا أهمية عوامل

التلقيح في تطور الأزهار.

والدلائل الحفرية تبين أن الأزهار ظهرت على سطح الأرض خلال منتصف العصر الحيواني الأوسط، أي منذ حوالي ١٥٠ مليون سنة.

وقد كانت الأزهار الأولى تتلاقح بالريح، وكانت تشبه في تركيبها بعض ذوي قرباها من النباتات التي توجد حالياً. فالأعضاء المؤنثة منفصلة عن الأعضاء المذكرة في أزهار مستقلة، وحبوب اللقاح مجنحة في بعضها.

وكانت البويضات محمولة في مخروطات أو على أوراق، وكانت تفرز قطرات من عصارة كالرحيق. ومع تعاقب الزمن اكتشفت الخنافس، التي تتغذى على عصارة الأشجار ورشنها أو على أوراقها، هذه القطرات الرحيقية التي تفرزها الأزهار. ومع ترددها على هذا المورد الغذائي الجديد نقلت– دون وعي– حبوب اللقاح إلى البويضات. ولا شك أن هذه الوسيلة الجديدة للتلاقح أعظم كفاءة من وسيلة الريح التي تستلزم إنتاج كميات هائلة من حبوب اللقاح. وما زالت عوامل الانتخاب الطبيعي بهذه الصفة الجديدة حتى لاءمت بين تركيب الأزهار وبين التلاقح عن طريق الخنافس. وأول خطوات هذه الملاءمة كانت إخفاء البويضات وحمايتها بجدار يحفظها من مضغ الخنافس، وطريقة ذلك تحويل الورقة أو الساق التي تحمل البويضة إلى كيس يسمى كربلة له جهاز لإستقبال حبوب اللقاح هو الميسم بعد أن كانت البويضة تتلقى حبوب اللقاح مباشرة. وتجذب الخنافس نحو المياسم إفرازات رحيقية، حتى إذا جاءت الحشرة لتلعق الرحيق تركت على الميسم شيئاً من حبوب اللقاح يكفي لإخصاب عدد من البويضات. وبدأ يكثر عدد البويضات في الكربلة الواحدة حتى بلغ العشرة والعشرين وزاد. ولذلك فالانتقال من التلقيح الهوائي إلى التلقيح الحشري يعني زيادة في خصوبة النبات وقدرته على التكاثر.

وما تزال خطى التطور تطرد، فالأسدية والكرابل تتجمع في أزهار واحدة، وعدد الأسدية يزداد حتى إذا التهمت الخنافس بعضها بقى البعض الآخر يؤدي وظيفته. ثم عمقت بعض الأسدية وتحولت تدريجياً إلى بتلات ذات ألوان زاهية، وبذلك اتخذت الزهرة شكلها الحديث.

هذه، في أغلب الظن، هي مراحل تطور الزهرة. فالأزهار البدائية التي نعرفها تلاقحها الخنافس، وبعدها تتابعت مراحل التطور إلى الأزهار ذات البتلات المنفصلة والرحيق. فلما ظهرت حشرات النحل والفراشات وذباب الأزهار في مستهل العصر الثلاثي– أي منذ حوالي ٧٠ مليون سنة– صاحب هذا مرحلة تطور الأزهار بما يلائم الحشرات ذات الألسنة الطويلة، فالتحمت البتلات مكونة أنابيب تويجية يتجمع فيها الرحيق، والتحمت الكرابل إلى متاع موحد له مبيض، وقلم، وميسم مركزي. ومن الطبيعي ألا تتيح الأنابيب التويجية الطويلة الغذاء للخنافس وغيرها من الحشرات غير ذوات الألسنة الطويلة، واقتصر التلاقح الحشري على النحل والفراشات وأضرابها. وبذلك دخل تطور الزهرة مرحلة أخرى فيها تخصص فلم تعد تنقل حبوب اللقاح أي حشرة عابرة، إنما أصبح لكل تركيب زهري نوع خاص من ناقلات حبوب اللقاح.

الجزء السابع

علم الوراثة التطبيقي

تأليف: بول س. مانجلسدورف

الفصل الأول

القمح

القمح هو أوسع المحاصيل انتشاراً، فهو أهم محصول في الولايات المتحدة وكندا، ويزرع في مساحات شاسعة من أمريكا الجنوبية وأوربا وآسيا وشمالي أفريقيا.. وللقمح أصناف كثيرة، ولعل أصناف القمح التي تزرع في العالم أكثر عدداً من أصناف أي نوع من النباتات البرية أو المزروعة. وفي كل شهر من شهور السنة تنضج محاصيل القمح في مكان ما من العالم، وتزرع حبوب جديدة.

وتدل القرائن على أن القمح كان من أوائل المحاصيل التي زرعها الإنسان، فقد وجدت حبوب القمح المتفحمة في حفريات قرية جارمو بشرقي العراق والتي تعتبر أقدم قرية تم اكتشافها إلى الآن، ويرجع تاريخها إلى ٦٧٠٠ سنة. ولعلها إحدى القرى التي شاهدت مولد الزراعة، وقد درس المؤلف بعض هذه الحبوب، وقارنها بحبوب حديثة متفحمة صناعياً فوجد التشابه بينها ملفتاً للنظر. ومكنت له هذه الدراسة تحديد أنواعها وأرجعها إلى نوعين من الحبوب: نوع يطابق القمح البري (أنيكورن بري) الذي يوجد حالياً في منطقة الشرق الأوسط، والثاني يطابق نوع القمح الزراعي (ذو الحبة الواحدة او أنيكورن زراعي). والواضح أن هذا القمح الذي يزرع حالياً لم يتعرض لأي تغيير يذكر خلال السبعة الآلاف سنة الماضية.

وزراعة القمح وضعت حجر الأساس للحضارة الغربية. والواقع أن

الحضارات جميعاً كان أساسها واحداً من محاصيل الحبوب. فحضارة بابل ومصر وروما واليونان اعتمدت على زراعة القمح والشعير والشيلم والشوفان، مثلها في ذلك مثل حضارات شمال وغرب أوربا.

أما حضارة الهند والصين واليابان فكان أساسها الأرز، وحضارة أمريكا القديمة كان أساسها الذرة، فما هو السر في الصلة الوثيقة بين الحضارة وزراعة الحبوب؟ قد تكون علاقة غذائية، فثمرة هذه المحاصيل حبة ذات غلاف رقيق يحوي بذرة . وفي البذرة مع الجنين النباتي كمية من الغذاء المخزون. أي أن حبوب النجيليات، مثلها في ذلك مثل البيض واللبن الحيواني، تحوي مواد غذائية هيأتها الطبيعة لغذاء النباتات الصغيرة في مراحل نموها الباكر، ففيها النشويات والبروتينات والدهون والأملاح والفيتامينات. وحبة المحصول النجيلي، إذا لم تفسدها عمليات الطحن والإعداد الآلي الحديث، أقرب إلى الغذاء المثالي من أي محصول نباتي آخر. واكتشف هذه الحقيقة الإنسان القديم، وأفاد منها. وهنود جواتيمالا كانوا يعيشون على طعام تبلغ نسبة الذرة فيه ٨٥%، وفي الهند كان الناس يعيشون على الأرز فقط في بعض الأحيان. وقد لا يتفق هذا الغذاء مع الآراء الحديثة في علم التغذية، ولكنها أفضل من الطعام الذي يتكون أغلبه من المحاصيل الدرنية كالبطاطس والبطاطة والكزافة، أو من البقوليات البروتينية كالفول والبسلاء والعدس.

وربما ترجع العلاقة بين الحضارة ومحاصيل الحبوب إلى النظام الذي تفرضه زراعتها. فالحبوب تزرع في أوقات معينة من السنة، تختلف من مكان إلى آخر على الأرض، وتحصد في أوقات معينة تجب مراعاتها بدقة. وفي ذلك تختلف الحبوب عن المحاصيل الجذرية التي يمكن أن تزرع وتحصد في أي وقت من أوقات السنة في المناطق المعتدلة المناخ. كما أن زراعة المحاصيل الدرنية يمكن أن يمارسها

الرجل ممن يزورون موضع الزراعة بين الحين والحين. أما زراعة الحبوب فتحتم حياة مستقرة، بل إنها دفعت الإنسان إلى ملاحظة الفصول وتنقلات الشمس والقمر والنجوم. ففي العالم القديم والعالم الجديد ابتكر زارعو الحبوب علم النجوم والتقاويم ونظام الحساب وزراعة الحبوب التي وفرت للناس غذاءهم الدائم وفرت لهم أيضاً بعض وقت الفراغ، ووقت الفراغ أتاح الإزدهار للفنون والحرف والعلوم حتى لقد قيل إن "زراعة الحبوب وحدها، دون غيرها من أوجه إنتاج الطعام الأخرى، تحمل الإنسان على العمل وتستثير فيه قوى الابتكار بدرجات متساوية".

وفي هذا الزمن يعتبر القمح– بلا شك– أهم الحبوب التي يصنع منها الخبز، ويكاد يكون إستعماله قاصراً على هذا الغرض. ولكن صناعة الخبز، ربما تحتاج إليه من فن وخبرة، لم تصاحب نشأة القمح كمحصول زراعي وغذائي، وتناول طعام القمح بدأ بتحميض الحبوب أو شيها حتى تصبح مستساغة. فالقمح البدائي، مثل غيره من الحبوب القديمة، كانت تحوط حباته أغلفة خشنة هي القنابع الحرشفية، والتسخين ييسر إزالة هذه القنابع بالدعك، وييسر أيضاً مضغ الحبوب أو صحنها.

وما يزال الناس في بعض مناطق الشرق الأوسط يحمصون الحبوب غير الناضجة. وكان الأسكتلنديون إلى عهد غير بعيد يتخلصون من حراشيف الشعير بتحريق السنابل قبل دراسها، ومازال هنود الشبيوا يجهزون الأرز البري بتسخين الحبوب ثم ضربها على جذوع مجوفة. ولا شك أن أول استعمال الذرة في أمريكا طعاماً كان مشوياً، وقد وجدت بقايا الذرة المفشر في الحفائر القديمة في أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية.

وفي الهند تحمص بعض أصناف الأرز بتقليب الحبوب مع الرمل الساخن،

وفي كثير من القرى يوجد "محمص القرية" الذي يتولى عن الناس مهمة تحميص حبوبهم نظير نصيب من النتاج.

وتدل القرائن التاريخية والنباتية على أن القمح كان يؤكل محمصاً في أول تاريخ هذا المحصول. وتوجد في حفائر قرية جارمو العراقية أفران تدل على إستعمال النار وحرارتها في هذه الأغراض. وكل الحبوب التي وجدت في الحفائر القديمة كانت سوداء متفحمة مما يدل على أنها تعرضت للتحميص، ولو لم تكن كذلك لتعفنت وتلفت طول القرون الكثيرة. والأنواع القديمة من القمح كان لحبوبها قشر لايمكن التخلص منه بالدراس، والوسيلة اليسيرة لذلك هي التحميص.

أما المرحلة الثانية فغالباً ما كانت دق الحبوب المحمصة وجرشها، ثم نقع المجروش في الماء ليكون منه ثريد. وربما كان الثريد ابتكاراً أنقذ حياة الكثيرين من الشيوخ والأطفال الصغار ممن لا أسنان لهم.

والمعروف أن الثريد أو العصيدة من أقدم أشكال الطعام الإنساني وقد كانت عصيدة الشعير المحمص الغذاء الرئيسي لسكان اليونان القدماء، وكان للهنود الأمريكان عصيدة من الذرة مازال لها شبيه إلى يومنا هذا في أنواع الطعام الأمريكية.

وأما ترك الثريد في المساكن الدافئة بضعة أيام قليلة، فإن أنواعاً من الخميرة سرعان ما تغزوه وتخمر بعضاً من السكر الموجود في الحبوب وينتج عن ذلك شراب كحولي. ولعل هذه الظاهرة هي التي وجهت النظر لصناعة الخبز بعد تخمين العجين. ومع ذلك فمازال التساؤل قائماً على أي الصناعتين كانت أسبق: صناعة الخبز أو صناعة الخمر؟

يعتقد البعض أن التخمر سبق الزراعة نفسها، دون أن يستند هذا الرأي إلى وقائع تاريخية أو أسانيد من علم الحفائر القديمة. بل إن وثائق قدماء المصريين تحوي طريقة صناعة الجعة من خبز لم يتم نضجه. والذي لاشك فيه أن الصلة وطيدة بين صناعتي التخميز والخبز. فكلاهما يعتمد على نشاط الخميرة.

على أن صناعة الخبز الحديث لم تكتمل لها الأسباب قبل ظهور نوع جديد من القمح نتيجة لتطور القمح وللعبقرية البشرية. ويتميز القمح عن غيره من المحاصيل بالاختلافات المعقدة بين أصنافه، فالمحاصيل الأخرى، ومنها محاصيل الحبوب كالأرز والذرة ذات الأصناف العديدة، تنتظم أصنافها في مدارج متصلة من الاختلافات، ولذلك تقع جميعاً ضمن نوع نباتي واحد لكل محصول. أما أصناف القمح فتنتظم في مجاميع متميزة ومختلفة بعضها عن بعض، ولذلك تقسم إلى أنواع نباتية لجنس "التريتكوم" وهو من أجناس الدنيا القديمة. وقد كانت أنواع القمح موضوعاً لدراسات مستفيضة على نطاق دولي، وعلى نحو لم تحظ به أية مجموعة نباتية أخرى سواء النباتات البرية أو الزراعية. وقد بدأت نتائج هذه الأبحاث تلقي الضوء على مراحل تطور القمح تحت تأثير الزراعة.

وقد اختلف العلماء في تحديد عدد الأنواع النباتية للقمح، ولكنا هنا نتبع رأي العالم الروسي نيقولاي فافيلوف وتلاميذه والذي يقول بوجود ١٤ نوعاً. وقد زاد في تقدير غيره من علماء النبات عدد الأنواع أو خفض قليلاً. على أن هناك إجماعاً على أن أنواع القمح تقع في مجموعات ثلاث تتميز كل منها بعدد من الكروموسومات فهي في الخلايا التناسلية ٧ و ١٤ و ٢١ على التوالي. ويتصل بهذه الأعداد اختلافات في التشريح والشكل والقدرة على مقاومة الأمراض ووفرة الإنتاج وصفات الطحين والخبز.

والواضح أن أنواع القمح ذات الأربعة عشر كروموسوماً، والواحد

وعشرين كروموسوماً نشأت بالتهجين ومضاعفة الكروموسومات من أنواع القمح ذات السبعة كروموسومات. ونظراً لأن تطور القمح تضمن دخول أجناس من النجيليات، فإن أنواع القمح تختلف في عدد الكروموسومات وفي طبيعتها. وتتضح العلاقة بين الكروموسومات المختلفة بدراسة درجة الإزدواج الكروموسومي في الخلايا التناسلية للهجين، فإذا كان الإزدواج تاماً فإنه يعني أن مجموعتي كروموسومات الوالدين متطابقة أو قريبة الشبه، فإذا لم يحدث الإزدواج فإنه يعني أن مجموعتي كروموسومات الوالدين مختلفة. وقد أمكن تمييز أربع مجموعات في أنواع القمح البرية والمزروعة، سميت بالحروف: أ، ب، د، ج. وكل منها يحتوي على سبع كروموسومات.

ويمثل شكل السنبلة وجهاً آخر من أوجه الاختلاف بين أنواع القمح. فالأنواع القمح البدائية سنبلة ذات محور مركزي متقصف أي يتكسر عند النضج إلى أجزاء تيسر عملية انتشار البذور. فإذا درست هذه السنابل تقطعت إلى سنيبلات في كل منها حبة أو أكثر محوطة بحراشيف. ومع تطور القمح الزراعي اختفت هذه الصفة الهامة في مجال التكاثر البري، ونشأت أشكال جديدة من القمح تتميز بسنابل ذات محور صلب يبقى متماسكاً عند النضج، فإذا درست مثل هذه السنابل انفصلت الحبوب عن حراشيفها القنبعية، والحبوب التي يفصلها الدراس عن حراشيفها أيسر في تناول الطحن والخبز من الحبوب التي تبقى لاصقة بحراشيفها. ولذلك فالأنواع الحديثة من القمح تتميز بالحبوب المتعرية أي التي يفصلها الدراس عن حراشيفها.

أما أنواع القمح ذات الكروموسومات السبع، فهي أقدم الأنواع جميعاً، وهي نوعان: قمح الإينكورن البري وقمح الإينكورن الزراعي ويسمى القمح ذو الحبة الواحدة. وقد وجدت حبوب هذين النوعين في حفائر جارمو العراقية،

على أننا لا نقطع أنهما النوعان الوحيدان الموجودان في هذه الحفائر. ولهذين النوعين سنابل متقصفة، وحبوب لاصقة بحراشيفها، ولهما مجموعة متشابهة من الكروموسومات وهي المجموعة أ. ولذلك فالتهجين بينهما يسير، وهجنهما خصبة. وللأصناف المزروعة حبوب أكبر وسيقان أقوى من الأصناف البرية، ولا يكاد يوجد اختلاف بين هذين النوعين ذلك. ولاشك أن القمح ذا الحبة الواحدة هو النوع المستأنس لقمح الإينكورن البري. ويبدو أنهما لم يتعرضا خلال الأجيال الطويلة إلا للقليل من التغيير.

يقع مركز التوزيع الجغرافي لقمح الإينكورن البري في جمهوريتي أرمينيا وجورجيا السوفيتية، وتركيا، ويمتد التوزيع شرقاً إلى شرقي القوقاز وغربي إيران، وغرباً إلى سفوح التلال اليونانية والبلغارية وجنوبي يوغوسلافيا. ويعتقد فافيلوف أن قمح الإينكورن الزراعي (ذا الحبة الواحدة) نشأ في المناطق الجبلية في شمال شرقي تركيا وجنوب غربي القوقاز، وربما يضاف إلى ذلك شرقي العراق. ومما لاشك فيه أنه محصول قديم جداً، فقد وجدت حبوبه المتفحمة في حفائر العصور الحجرية في شمال شرقي أوربا. على أن الدلائل لم تقم على وجوده في الأزمنة القديمة في الهند أو الصين أو أفريقيا. ومازال هذا الصنف يزرع إلى يومنا هذا في المناطق الجبلية، ذات التربة الرقيقة، في أوربا وفي الشرق الأوسط. ومحصوله قليل لا يجاوز ٨– ١٥ بوشل[1] للفدان الواحد. ويمكن أن يصنع من دقيقة خبز داكن اللون لذيذ النكهة ولكنه يستعمل عادة دون نزع الحراشيف عن الحبوب، كغذاء للخيل والماشية. وأهمية هذا النوع الحقيقية هي أنه أصل نسلت عنه أنواع أخرى من القمح. فأنواع القمح جميعاً، فيما عدا القمح الإمرى (ذا الحبتين)، ترجع إلى قمح الإينكورن وينتمي إلى المجموعة أ ذات

[1] البوشل: كيل للحبوب سعته ٢٥ أفة.

السبعة كروموسومات.

وتتمثل المرحلة التالية من مراحل تطور القمح، في ظهور الأنواع ذات الأربعة عشر كروموسوماً. وهي سبعة أنواع نشأت جميعاً بالتهجين ومضاعفة عدد الكروموسومات. وتشتمل الكروموسومات على سبعة (هي المجموعة أ) جاءت من قمح الإينكورن وهي سبعة (هي المجموعة ب) التي توجد في ستة أنواع من السبعة التي تتضمنها هذه المجموعة، جاءت من أحد النجيليات البرية القريبة من القمح. أما تحديد هذه النجيليات فما يزال موضع الدراسة. ويعتقد البعض أن المجموعة ب جاءت من نبات من نوع السفون، وهو جنس من أجناس النجيليات الشائعة.

وجميع أنواع هذه المجموعة، عدا نوع واحد هو قمح الإمر البري، أنواع زراعية. وقمح الإمر البري يوجد في جنوبي أرمينيا وشمال شرقي تركيا وغربي إيران وسوريا وشمالي فلسطين، وقمح الإمر الزراعي (النوع ذي الحبتين) قريب جداً من النوع البري، ويبدو أنه نتج عن إستئناسه، وهو أقدم أنواع القمح ذات الأربعة عشر كروموسوماً، وكان في بعض الأزمنة أوسع أنواع القمح الزراعي انتشاراً. ومن الجائز أيضاً أن يكون القمح ذو الحبتين نتيجة للتهجين بين القمح ذي الحبة الواحدة وقريب بري له كروموسومات سبعة.

والحقيقة أن التهجين بين قمح الإمري البري، وقمح الإمري الزراعي (ذي الحبتين) ينتج أحياناً أنواعاً عقيمة من القمح مما يدل على أن تركيبها الوراثي غير تام التطابق، ومما قد يدل أيضاً على أن أحدهما نتج عن تهجين قديم والآخر نتج عن تهجين حديث على أنه لاشك في قدم القمح ذي الحبتين؛ فقد وجدت سنابل تامة الشبه به في مقابر الأسرة الخامسة من أسر قدماء المصريين. ويبدو أنه كان النوع السائد في الشرق الأوسط خلال التاريخ القديم حتى

العصر الروماني اليوناني.

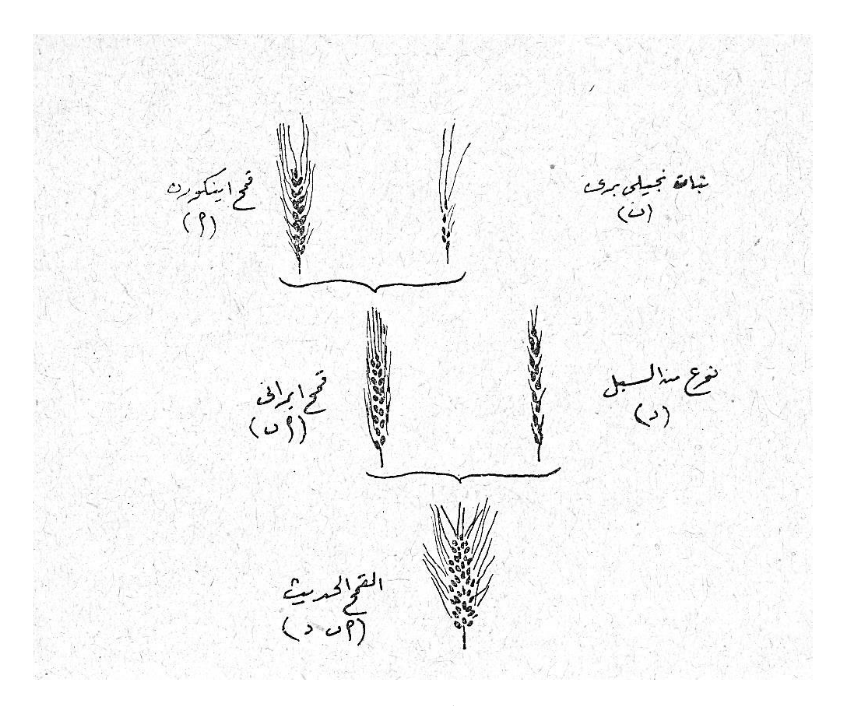
وأنواع الإمر، مثل أنواع الإينكورن، ذات سنابل متقصفة، ويمكن أن يصنع من دقيق قمح النوع الزراعي خبز جيد وكعك بديع. ولكن أغلب محصوله يذهب حالياً إلى غذاء المواشي، وبعض أصناف هذا النوع شديدة المقاومة لصدأ الساق وصدأ الأوراق، وهي الأمراض الرئيسية للقمح، ولذلك فله أهمية خاصة في استنباط أصناف جديدة تقاوم هذه الأمراض.

ومن أنواع القمح ذات الأربعة عشر كروموسوماً، أربعة أنواع ذات سيقان قوية، وحبوب يسهل فصلها عن حراشيفها، وهي أنواع الدكر والإيراني والفينو والبولندي. وهي جميعاً أحدث نشأة من الإينكورن والإمر، وأقدمها القمح الدكر إذ وجد في العصر الروماني اليوناني أي حوالي القرن الأول للميلاد، وأحدثها القمح البولندي الذي يتميز بالسنابل الضخمة والحبوب الطويلة الصلبة إذ كان أول ظهوره في القرن السابع عشر. وليس لغير القمح الدكر من أنواع هذه المجموعة في الزمن الحديث أهمية اقتصادية تذكر. والقمح الدكر من أصلح الأنواع لصناعة المكرونة والإسباجتي وأضرابهما من الأطعمة ويزرع بكثرة في إيطاليا وإسبانيا وأجزاء من الولايات المتحدة. أما نوع القمح الفينو فله أهمية خاصة، إذ هو أطولها يبلغ إرتفاع الساق ٤– ٦ أقدام، ويتميز في الظروف المناسبة بمحصول وافر جداً، ولكن حبوبه طرية ودقيقها ضعيف لا يصلح لصناعة الخبز إلا إذا خلط بدقيق غيره من الأنواع. ومن أصناف القمح الفينو صنف يسمى قمح المومياء أو قمح المعجزة، وله سنابل كثيفة التفرغ. وكثيراً ما ذكر عنه أنه نادر وأن حبوبه وجدت حية في حفريات قدماء المصريين ضمن لفائف المومياء، إلى غير ذلك من القصص التي لا تستند إلى أساس من الصحة ولا الصدق.

فحبوب القمح لايزيد مدى حياتها على عشر سنوات، أضف إلى ذلك أن هذا النوع لم يكن معروفاً في مصر القديمة.

والنوع السابع من ذوات الأربعة عشر كروموسوماً هو الطمفي، اكتشفه العلماء الروس في هذا القرن في غربي جورجيا حيث يزرع في عدة آلاف من الأفدنة. ولهذا النوع أهمية علمية، إذ أن له مجموعة الكروموسومات أ والمجموعة الأخرى هي ج التي لا توجدفي غيره من الأنواع ذات الأربعة عشر كروموسوماً. وله أهمية أخرى إذ أنه يقاوم كل الأمراض التي تتعرض لها أنواع القمح الزراعية بما في ذلك الصدأ والتفحم والبياض. وربما أمكن استنباط أنواع جديدة منه يكون لها أهمية اقتصادية عظيمة.

أما الأنواع ذات الواحد وعشرين كروموسوماً، فعددها خمس وهي أحدث أنواع القمح وأكثرها فائدة في الزمن الحديث، وجميعها من الأنواع الزراعية، ولا تعرف منها أنواع برية. هذه الأنواع نتجت عن التهجين بين أنواع القمح ذات الأربعة عشر كروموسوماً (تتمثل فيها المجوعتين أ و ب) وواحد من النجيليات القريبة من القمح من ذوات السبع كروموسومات، وهي غالباً أنواع من جنس السبل ومنه جاءت مجموعة الكروموسومات د. والاعتقاد السائد أن هذه الأنواع الهجينية نشأت بعد الإنسان وما نشرع من أسس الثورة الزراعية وفنونها، وما تعرضت له تبعاً لذلك، أنواع القمح الهجين مع النجيليات البرية (شكل ١٠)



(شكل ١٠)

تاريخ القمح الحديث. قمح الإينكورن الزراعي (ذو الحبة الواحدة) يحمل سبعة كروموسومات هي المجموعة أ، تزاوج مع نبات نجيلي بري له سبعة كروموسومات هي المجموعة ب، فنشأ عن ذلك القمح الإيراني ذو الأربعة عشر كروموسوماً. وتزاوج القمح الإيراني مع نوع من السبل البري فيه سبعة كروموسومات هي المجموعة د، فنتج القمح ذو الواحد وعشرين كروموسوماً (أ ب د).

ومن هذه الأنواع، نوعان هما القمح الرومي والقمح الماخا يتميزان بالحراشيف اللاصقة في الحبوب، مما يذكرنا بنوعي الإينكورن والإمرى وقد مضى زمن كان القمح الرومي فيه النوع الأساسي لزراعة القمح في أواسط أوربا. أما قمح الماخا فتوجد منه عدة آلاف من الأفدنة في غربي جيورجيا. ولا توجد لهذه الأنواع آثار في التاريخ القديم للشرق الأدنى أو آسيا.

وقد ثبت أن القمح الرومي هو هجين أمكن تخليقه، وأن السبعة

كروسومات الثالثة جاءت من نوع من أنواع السبل البري. وقد توصل إلى إثبات ذلك عالمان من أمريكا وعالم من اليابان، وتوجت هذه الدراسات بتجارب أثبتت أن تزاوج القمح الرومي المخلق والقمح الرومي الطبيعي تزاوجاً سليماً ينتج عنه نباتات خصيبة. وتدل هذه الدراسات على أن نشأة الأنواع الأخرى من ذوات الواحد والعشرين كروموسوماً ترجع إلى التهجين بين بعض أنواع القمح وهذا السبل البري أو أنواع أخرى قريبة جداً منه. ويجوز أن نستنتج أن القمح الرومي نشأ طبيعياً في المناطق التي يوجد فيها قمح الإمرى البري وهذا النوع من السبل. ولكن البحث عنه في هذه المظان لم يجد شيئاً. وقد يقال إنه نتج من تزاوج قمح الإمر الزراعي (ذي الحبتين) وهذا النوع من السبل البري، ولكن فافيلوف تتبع هذا الأمر وظهر له أن القمح الرومي نشأ في منطقة جنوبي ألمانيا. وقد سبقت إلى ذلك عالمة ألمانية قائلة بأنه نشأ في منطقة سويسرا وجنوب غربي ألمانيا. ولا تبعد المنطقتان كثيراً عن الحدود الشمالية الشرقية لمنطقة وجود قمح الإمر الزراعي مع السبل البري. ولذلك فالقرائن التاريخية والنباتية تدلان على أن أصل القمح الرومي يرجع إلى أواسط أوربا.

أما الأنواع الثلاثة الأخرى، من ذوات الواحد وعشرين كروموسوماً، فهي قمح الحنطة العادي (الهندي)، وقمح الحبوب الكروية والقمح الصولجاني ويرجع إلى هذه الأنواع ٩٠% من محصول القمح في العالم، وهي أنواع متقاربة، يتم بينها التزاوج في غير صعوبة. وقد اختلفت في أصلها الآراء، فيقال إنها نتيجة تهجينات ثلاثة بين أنواع من القمح ذي الأربعة عشر كروموسوماً، وأنواع من النجيليات البرية ويقال أيضاً إنها تمثل ثلاثة إتجاهات سلالية من تهجينة واحدة. وليس من اليسير حالياً الجزم بواحد من القولين. وقمح الحبوب الكروية والقمح الصولجاني تتميز عن القمح الهندي بعدد من الصفات التفصيلية التي تتحكم

فيها عدد قليل من الجينات، ولذلك فيجوز أن تكون الأنواع الثلاثة قد نسلت عن هجين أصلي واحد. وقد تمكن أخيراً العالم الياباني كيهارا من استنباط نوع من القمح إن لم يكن هو القمح الهندي فهو قريب الشبه به جداً. استنبط كيهارا صناعياً هذا القمح بأن زواج

جدول يبين أنواع القمح، تاريخها كما تدل عليه بقايا الحفائر وغيرها، وتوزيعها الجغرافي، وصفات الحبة، وصفات النبات، وعدد الكروموسومات ونوع مجموعاتها والأسماء الإنجليزية والعلمية للأنواع

نوع القمح	تاريخ	التوزيع الجغرافي
إينكورن	قبل الزراعة	غرب إيران. آسيا الصغرى. جنوب شرق أوربا
وحيد الحبة	٤٧٥٠ ق.م.	شرق القوقاز. آسيا الصغرى. وسط أوربا
ذو الحبتين بري	قبل الزراعة	غرب إيران. آسيا الصغرى
ذو الحبتين	٤٠٠٠ ق.م.	الهند. وسط آسيا. آسيا الصغرى. أوربا
دكر	١٠٠ ق.م.	وسط آسيا. آسيا الصغرى. جنوب شرق أوربا.
إيراني	غير معروف	شمال أمريكا
فينو	غير معروف	داغستان. جورجيا. أرمينيا. شمال شرق تركيا.
بولندي	القرن السابع عشر	الحبشة. جنوب أوربا
جورجيا	القرن العشرون	الحبشة. حوض البحر الأبيض المتوسط
هندي	العصر الحجري	غرب جورجيا
كروي الحبة	الحديث	العالم
صولجاني	٢٥٠٠ ق.م.	وسط وشمال غرب الهند
رومي	العصر الحجري	جنوب غرب آسيا. جنوب شرقي أوربا. شمال
ماخا	الحديث	أمريكا
	العصر البرونزي	وسط أوربا
	القرن العشرون	غرب جورجيا

الحبة	النمو	الكروموسومات	الإنجليزي	الإسم العلمي

		عدد	مجموعة		
T. aegilopides	**Wild einkorn**	٧	أ	بري	مغطاة
T. monococcum	**Einkorn**	٧	ب	زراعي	مغطاة
T. dicoccoides	**Wild emmer**	١٤	أب	بري	مغطاة
T. dicoccum	**Emmer**	١٤	أب	زراعي	مغطاة
T. durum	**Macaroni**	١٤	أب	زراعي	عارية
T. persicum	**Persian**	١٤	أب	زراعي	عارية
T. tutgidum	**Rivet**	١٤	أب	زراعي	عارية
T. Polonicum	**Polish**	١٤	أب	زراعي	عارية
T. timopheevi	——	١٤	أجـ	زراعي	مغطاة
T. aestivum	**Common**	٢١	أب د		عارية
T. Sphaerococcum	**Shot**	٢١	أب د		عارية
T. compactum	**Club**	٢١	أب د		عارية
T. spelta	**Spelt**	٢١	أب د		مغطاة
T. macha	**macha**	٢١	أب د		مغطاة

بين القمح الإيراني ذي الأربعة عشر كروموسوماً، وذلك النوع من السبل البري الذي سبق إستعماله في تخليق القمح الرومي. هذا النوع الصناعي لم يتم تضاعف عدد الكروموسومات فيه بعد، ولكن صفاته النباتية هي صفات القمح الهندي.

أما أين وكيف نشأت هذه الأنواع، فما تزال أسئلة يتردد حولها كثير من الحدس. ولما كان القمح الإيراني معروفاً في منطقة محدودة من شمال شرق تركيا

والمناطق الروسية المتاخمة لها، فيبدو أن القمح الهندي نشأ في هذا الموضع. أما قمح الحبوب الكروية فقد وجدت بعض حبوبه في بعض الحفائر الهندية بمنطقة ماهينجو- دارو ويرجع تاريخها إلى ٢٥٠٠ ق.م. كما أن بعض حبوب القمح الصولجاني وجدت في حفائر العصر الحجري الجديد في هنغاريا. ووجدت أيضاً انطباعات لحبوب قمح في حفائر العصر الحجري الجديد (حضارة الدولمين) التي يرجع تاريخها إلى ما بين ٣٠٠ و ٢٤٠٠ ق. م.، ويبدو أنها للقمح الهندي أو القمح الصولجاني. وأقدم البقايا التي وجدت في اليابان، ويرجع تاريخها للقرن الثالث يقال إنها بقايا القمح الهندي. ولما كان من المعروف أن أنواع القمح ذات الأربعة عشر كروموسوماً قد أدخلت حديثاً إلى الصين، فيبدو أن القمح الذي وصفته كتب الصين القديمة من عصر التشاو (حوالي ١٠٠٠ ق.م) من النوع الهندي.

ذي الواحد والعشرين كروموسوماً. ومن هذه الدلائل والقرائن نستدل على أن أنواع القمح الحديثة نشأت قبل الميلاد (حوالي ٢٥٠٠ ق.م) ولكنها أحدث نشأة من نوعي الإينكورن والإمر.

ومهما يكن من أمر تاريخ نشأة هذه الأنواع، وطبيعة نشأتها من ثلاثة هجن مختلفة، أو ثلاثة إتجاهات لهجين واحد، فإنها تزرع حالياً في رقعة من الأرض تزداد سنة بعد أخرى. وهي تزرع في مناطق من العالم تمتد من خط الإستواء إلى المناطق القطبية. ويمكن حساب سرعة ازدياد رقعتها على اعتبار أنها نشأت منذ ٥٠٠٠ سنة في منطقة آسيا الصغرى، وتزرع حالياً في حوالي ٤٠٠ مليون فدان، أي أن رقعتها الزراعية زادت بمعدل ٧٥٠٠٠٠ فدان في السنة، والواقع أن تطور هذه الأنواع وانتشارها أشبه ما يكون بالظاهرة العارمة، وكان دور الإنسان هو إدراك فوائدها وفتح المجالات الزراعية لها.

ومن أهم مزايا القمح- غير إنتاجه الوفير ويسر دراسه وتعري حبوبه أي انفصالها عن الخراشيف القنيبية- صفات المادة البروتينية في دقيق الخبز وتسمى الجلوتين، ودقيق الخبز يتميز عن دقيق كل الحبوب الأخرى بإمكان صناعة خبز مخمر زغبي القوام.

وقد نشأت كل أنواع القمح المزروع طبيعياً، عدا الإينكورن (وحيد الحبة) وربما الإمر (ذو الحبتين). فلم يتدخل الإنسان في نشأتها غير أنه وسع مدى زراعتها في العالم، ووسع بذلك إمكانيات تهجنها. ولا يوجد دليل على أن الإنسان القديم اهتم بانتقاء أصناف ممتازة من القمح يفضلها في زراعته، وإن كان قد فعل ذلك فلا يوجد دليل على أنه نجح في استنباط أصناف أفضل. والقمح الإينكورن الزراعي الذي ينمو حالياً في بعض الحقول لا يختلف عن قمح الإينكورن الذي كان يزرع منذ آلاف السنين. وقمح الإينكورن البري مازال كما كان. ويمكن أن يقال مثل هذا عن قمح الإمر، ولذلك فالكلام عن الإنسان القديم كصاحب خبرة وفن في تربية النبات قول فيه مبالغة كثيرة ولم يقم عليه دليل مقبول.

خلال القرن الحديث، وخصوصاً بعد إعادة اكتشاف قوانين مندل الوراثية عام ١٩٠٠ بذلت جهود وبرامج عظيمة لتحسين أنواع القمح في كل مناطق زراعته من العالم. وقد صادف هذه الجهود الكثير من التوفيق، وتتابع ظهور الأصناف الجديدة. ونادراً ما توجد ولاية في أمريكا تزرع حالياً أصناف القمح التي كانت تزرعها منذ خمسين سنة. وقد كانت الطريقة الشائعة لتربية الأصناف الممتازة، هي طريقة "الخطوة النقية" والفكرة التي بنيت عليها هذه الطريقة، هي أن النوع الواحد من النباتات يتضمن مجموعة مختلطة من "الخطوط النقية" تختلف فيما بينها في بعض السمات، وتتمثل في كل منها وحدة وراثية.

وعمليات الاختيار والانتقاء ليس لها تأثير يغير من صفات الخط النقي الواحد، ولكن يمكن الفصل بين مجموعة مختلطة من الخطوط وانتقاء الأفضل وتربيته. والطريقة العملية، هي اختيار سنابل من أحد أصناف القمح، ثم تفصل حبوب كل سنبلة على حدة، وتزرع هذه الحبوب في صف واحد (صفوف التربية). حتى إذا نضج المحصول جمعت حبوب الصف الواحد وأعيدت زراعتها في العام التالي في صف أطول، وهكذا يزداد طول الصف سنة بعد أخرى ويزداد المحصول الناتج من حبوب أصلها من سنبلة واحدة، أي خط نقي.

ويمكن المقارنة بين نباتات الخطوط النقية من ناحية وفرة الإنتاج وغيرها من الصفات. والخطوط التي تظهر مميزاتها ينالها التوسع والعناية، وتزرع في حقول تجريبية يمكن بها المقارنة الدقيقة وانتقاء الخط الممتاز الذي يسمى بإسم معين، ثم يوزع للإنتاج على الفلاحين.

على أن طريقة الخطوط النقية لا تنشئ صفات وراثية جديدة، بل تغربل مجموعة من الخطوط ليتبين أفضلها. أما إحداث صفات وراثية جديدة فوسيلته التهجين. ويختار للتهجين صنفان في كل منهما صفة أو صفات يراد جمعها معاً، وعلى سبيل المثال، يكون لصنف منهما ميزة في صفات الطحين وصناعة الخبز. ويكون للصنف الثاني ميزة مقاومة بعض الأمراض. وللتهجين بينهما يعمد مربو النبات إلى خصي زهور أحدهما بإزالة أسديتها التي تحمل حبوب اللقاح، ويتم ذلك والأسدية تامة النمو ولكن قبل النضج. وتستعمل في هه العملية ملاقط دقيقة. ثم تغطي الزهور التي أزيلت أسديتها بأكياس من مادة شبه زجاجية تمنع التلاقح غير المرغوب فيه. وبعد مضي بضعة أيام، أي عندما يتم نضج أعضاء التأنيث وتصبح المياسم على استعداد لقبول حقول اللقاح، يتولى الإخصائي تلقيحها بحبوب مأخوذة من الصنف الثاني. ونتيجة لهذا اللقاح تخصب

البويضات، وتنتج البذور. فإذا استنبت نتج عنها نباتات الجيل الأول وهي على نمط واحد وشكل واحد حتى يصعب التمييز فيما بينها. ولكنها تنمو وينتج عنها حبوب إذا استنبت كان منها الجيل الثاني وهكذا جيلاً بعد جيل. وفي هذه الأجيال المتتابعة تظهر الانفصالات الوراثية، ويمكن التمييز بين مجموعات متبادلة من الصفات، وتتيح الفرصة العريضة للانتقاء والاختيار. وهنا تتبدى موهبة مولد السلالات ومقدرته على اختيار السلالات التي تجمع الصفات المرجوه. ومع اطراد الانتقاء والاختيار وما يتبع ذلك من غربلة الخليط الوراثي، يصل النبات إلى مرتبة الخط النقي.

وطريقة التهجين أصبحت أوسع انتشاراً من طريقة الخط النقي.

فمولد سلالات القمح الحديث تترسم أمامه أهداف عديدة، أهمها في الغالب كمية الإنتاج، ولكن ذلك يعني أموراً كثيرة منها مقاومة الأمراض واحتمال الظروف البيئية غير المناسبة. وقد ابتكر مولدو القمح وسائل لاختبار صفات السلالات الجديدة بتعريضها للجفاف الصناعي والبرد والأمراض الوبائية.

ولتوليد أصناف من القمح لها القدرة على مقاومة الأمراض، أهمية خاصة لأن القمح من نباتات الإخصاب الذاتي، ولذلك فغالباً ما يبقى القمح على نمط وراثي واحد إلا في حالات التهجين الطبيعي أو الطفرات. وحقل القمح الذي يزرع بحبوب صنف واحد، وخاصة لو كانت الحبوب من خط نقي، يشتمل على ملايين النباتات ذات التركيب الوراثي الواحد. فلو كان الصنف غير مقاوم للمرض، فإن الحقل جميعه يصبح مجالاً خصيباً وفسيحاً لنمو الكائن المرضي وتكاثره، ولذلك فزراعة الأصناف المستحدثة في مساحات واسعة تتعرض لأخطار الأمراض التي لا قدرة لها على مقاومتها. والنتيجة أن الصراع

دائر لا ينقطع بين مولدي أصناف القمح الجديدة، وأنواع الفطريات المرضية. مثال ذلك محاولة استنباط أصناف لها القدرة على مقاومة أمراض صدأ الساق التي تسبب خسائر باهظة. وأنواع صدأ الساق عديدة؛ فإذا استنبط مولد الأصناف صنفاً جديداً من القمح له القدرة على مقاومة الأنواع السائدة من أمراض الصدأ، سرعان ما يوزع على المزارع وتزداد مساحته الزراعية تدريجياً. ولكن بينما يهجن الإنسان أصناف القمح الجديدة، إذا بالطبيعة تهجن أصناف الفطريات أيضاً. ويتم طور من أطوار تكاثر فطريات الصدأ على نبات عود الريح، ولا تفتأ تظهر على هذا النبات سلالات جديدة من فطريات الصدأ.

وعلى الرغم من أن أغلب هذه السلالات الجديدة تموت دون أن تجد مجالاً للنمو والتكاثر، وأن القليل منها يجد أصنافاً من القمح لا تقاوم نموه، سرعان ما تتكاثر هذه السلالة الفطرية حتى تصبح في مدى سنوات قليلة، سلالة وبائية تسبب خسائر للمحصول. وتكون مهمة مولد القمح أن يجوب الأرض بحثاً عن أصناف من القمح تقاوم هذا الفطر الجديد، ثم تبدأ سلسلة الأعمال التي توصل إلى هجين جديد يصلح بديلاً للصنف الذي ذهب الفطر الجديد بمميزاته. وما زال التنافس بين الإنسان والفطر على محصول القمح في العالم، مظهراً من مظاهر التسابق البيولوجي الذي لا ينتهي.

وأصناف القمح الممتازة تجمع إلى وفرة المحصول ومقاومة الأمراض صفات ممتازة لإنتاج الدقيق ونوعه. ففي زمن الإنتاج الآلي للمخابز الحديثة ذات الخلاطات السريعة، يتعرض العجين للكثير من المط والجذب مما لا يتعرض له العجين الذي تتناوله الأيدي المنزلية.

ولذلك فتتضمن الاختبارات التي تجرى على الأصناف الجديدة، تجارب على الطحن وعجن الدقيق بما يماثل المراحل الصناعية التي تمر فيها حبوب

القمح حتى تصبح خبزاً. وكثير من الأصناف التي تبدو ممتازة في الحقل، تسقطها هذه الاختبارات المعملية.

ورغم الصعوبات التي تكتنف أعمال المربين، فمازال استنباط أصناف من القمح ذات غلة أوفر من أهم الوسائل لزيادة إنتاج الطعام ورفع مستوى المعيشة، فعندما تم تجفيف مستنقعات بونتين في إيطاليا، عكف علماء تربية القمح على العمل حتى استنبطوا أصنافاً جديدة من القمح تجود في مثل هذه الأرض الجديدة. ومثل ذلك يقال عن مشروعات قرية أتاواه بالهند، وهي مشروعات تضمنت زراعة أصناف محسنة من القمح؛ ومشروعات تحسين القمح في المكسيك لإنتاج أصناف تقاوم الصدأ. وقد أمكن بعمليات التزاوج بين القمح المكسيكي والأصناف التي تقاوم الصدأ من القمح الأمريكي والأسترالي والنيوزيلندي استنباط أصناف جديدة بلغت من القدرة على مقاومة الصدأ ما يتيح زراعتها في صيف المكسيك المطير بالإضافة إلى زراعتها في شتاء المكسيك الجاف وهو موسم الزراعة فيما قبل الأصناف الجديدة. وجميع الأصناف التي تزرع حالياً في المكسيك، هجن جديدة استنبطت بعد ١٩٤٣.

ولا تقتصر عمليات التهجين على التزاوج بين الأصناف المختلفة للنوع الواحد من أنواع القمح، بل أمكن التهجين بين بعض أنواع القمح.

وقد فتح أخيراً مجال جديد لإستنباط أنواع جديدة من الحبوب بتهجين الأنواع المختلفة والمضاعفة الصناعية لعدد الكروموسومات، أي تقليد التطور الطبيعي الذي نتجت عنه أنواع القمح القديم. وقد نجح العلماء في التهجين بين القمح والشيلم، ونتج عن ذلك هجين خصيب ذو صفات وراثية ثابتة يجمع بين كروموسومات النباتين. ولم يكن الهجين قمحاً ولا شيلماً، ولكنه نبات أشد مقاومة للبرد من القمح، ولكنه أقل قيمة كنبات منتج للدقيق، ولذلك لم

يصادفه النجاح.

وقد تمكن الروس بالتهجين بين القمح وأحد النجيليات المعمرة، من إنتاج نوع من القمح المعمر، يقال إن له مميزات عظيمة، وإن الحقل من القمح المعمر ينتج محصولاً سنة بعد سنة دون الحاجة إلى مزيد من العناية أو العمل إلا عند جني المحصول. على أنه يبدو أن لهذا القمح المعمر مميزات بإعتباره كلأ للماشية، لا بإعتباره من محاصيل الحبوب. على أن فكرة استنباط أنواع جديدة من محاصيل الحبوب بالتهجين بين الأنواع المختلفة، ومضاعفة الكروموسومات مازالت تحمل إمكانيات عريضة لم تستغل بعد وسيأتي اليوم الذي تصبح فيه أنواع القمح المزروعة مما تم استنباطه بدلاً من الأنواع الطبيعية التي تزرع حالياً.

الفصل الثاني

الذرة

الذرة أهم نبات في أمريكا، حتى يقال عنه إنه العمود الفقري للزراعة الأمريكية. فهو محصول يزرع في الولايات الأمريكية جميعاً، وجملة الأرض التي يزرع فيها تعادل ثلاثة أرباع الأراضي الزراعية. وهو أكثر النباتات الأمريكية كفاءة في امتصاص الطاقة الشمسية وتحويلها إلى مواد غذائية. والواقع أن الأمريكيين يأكلون القليل من حبوب الذرة كما هي، ولكنهم يأكلونها بعد أن تتحول إلى لحم ولبن وبيض وغيرها من المنتجات الحيوانية. حتى يقال بحق إن الذرة هو النبات الأساسي للغذاء في الحضارة الأمريكية الحديثة.

ويمثل نبات الذرة أحد الأسرار الغامضة في عالم النبات، فقد أصبح من فرط استئناسه غير قادر على التكاثر بدون الرعاية الإنسانية.

هو واحد من النجيليات، ولكنه يتميز عنها جميعاً– سواء النجيليات البرية أو الزراعية– بشكل سنبلته. فهي نورة ذات تركيب خاص تنتظم فيها أزهار عديدة تغلفها غمد متراكبة، وإذا تم نضجها تحولت إلى كوز به عدة مئات من الحبوب العارية يحملها قائم متضخم (القولحة).

أما النورة المذكرة، السنبلة الذكرية، فتكون على نفس النبات بعيدة عن النورة المؤنثة. وليس لكوز الذرة شبيه في المملكة النباتية سواء في النباتات البرية أو المحاصيل، وبناء الكوز يتلاءم مع الزراعة وعناية الإنسان، وبدونها لا تصلح للتكاثر الطبيعي لأنها تفتقر إلى آلية انتشار البذور. فلو وقع كوز الذرة على

أرض صالحة للزراعة، نبتت عنه عشرات كثيرة من البادرات المزدحمة المتنافسة على الماء والغذاء المتاح، فتنمو ضعيفة ولا تتاح لها فرصة النمو إلى مرحلة النضج والتكاثر.

على أية صورة كان الأصل البري أو القديم لهذا النبات النجيلي الغني بالمواد الغذائية؟ أين ومتى وكيف تحول نبات بري له الجلد على الحياة الطبيعية إلى نبات زراعي يعتمد كل الاعتماد على الفلاحة الإنسانية، حتى ليهلك لو حرم منها؟ هذه أسئلة حيرت علماء النبات، وعلماء التاريخ القديم لمدة قرن أو يزيد. والآن، بعد دراسات وبحوث في علوم النبات والوراثة والتاريخ، بدأت تتضح المعالم للإجابة عن هذه الأسئلة. والسر الغامض لم يتم بعد اجتلاؤه، ولكن شبكة القرائن بدأت تتكامل وأصبح الحل وشيكاً.

ولا يوجد دليل على أن الذرة عرفت في أي جزء من أجزاء العالم القديم خلال الأزمنة الغابرة. فقد وجدت حبوب القمح والشعير وأنسجة الكتان والقنب في حفريات الشرق الأدنى، دون أن يعثر للذرة على أثر. كما أن البابليين والمصريين رسموا ووصفوا كثيراً من النباتات ولم يكن من بينها الذرة. كما لم يذكر هذا النبات في الإنجيل ولو أن بعض الترجمات الإنجليزية تخلط بين الذرة والقمح بإستعمال كلمة الحبوب.

وقد تضمنت لغة الإغريق كلمة لكل شيء عرفوه، دون أن يكون فيها كلمة للذرة. والكتب الكثيرة، التي تضمنتها الحضارة الصينية القديمة والحضارة الهندية القديمة، لا يوجد فيها ذكر للذرة. والواقع أنه لا يوجد دليل تاريخي أو لغوي أو فكري أو تصويري يدل على أن الذرة عرف في أي جزء من أجزاء العالم القديم قبل سنة ١٤٩٢.

وأول ذكر الذرة في التاريخ كان في الخامس من شهر نوفمبر عام ١٤٩٢،

إذ كان كولمبس قد أوفد إثنين من الإسبان لإستكشاف الأجزاء الداخلية من كوبا، وذكر أحدهما في تقريره "يوجد نوع من الحبوب يسمونه الذرة له طعم حسن، يحمص ويجفف ويصنع منه دقيق". وقد وجد من أعقب من المستكشفين أن الهنود الأمريكيين يزرعون الذرة في كافة أجزاء أمريكا من كندا إلى شيلي، وظهر أن الذرة موجودة في كل مكان من الدنيا الجديدة بينما لم يكن معروفاً قط في الدنيا القديمة. وقد وجدت أصناف عديدة من الذرة. وأهم الأصناف الرئيسية التي توجد حالياً وهي الذرة النشاوي والصواني والدقيق والحلو والفشار، كانت موجودة في أمريكا قبل اكتشافها.

وتجمع الدلائل جميعاً على أن الذرة نبات أمريكي الأصل، ولذلك فقد تركز البحث عن أصوله البرية في نصف الكرة الغربي. ويبدو أن للذرة تاريخاً قديماً في أمريكا، فكان الهنود من القبائل شبه البدوية التي عاشت على الصيد والقنص في أمريكا الشمالية والجنوبية، يستكملون طعامهم بالجمع بين الذرة ولحوم الصيد أو السمك. أما القبائل الأكثر تقدماً والتي عاشت في حوض نهر المسسبي والمناطق الجبلية في الجنوب الغربي فقد كانوا يزرعون الذرة ويأكلونه، كذلك كانت تفعل قبائل المايا المتحضرة التي كانت تسكن أمريكا الوسطى، وقبائل الأزتكس التي كانت تسكن المكسيك، وقبائل الأنكاس التي كانت تسكن بيرو وبوليفيا. وقد أتاحت وفرة المحصول لهذه القبائل القديمة فسحة من وقت الفراغ عكفوا خلاله على صناعاتهم الجميلة وفخارهم الرائع، وعلى تعبيد الطرق وبناء الأهرام وابتكار نظام للحساب والتقويم فاق في دقته تقويم الدنيا القديمة المعاصر له، والفضل في ذلك يرجع للذرة.

إن الاعتماد التام على الذرة كطعام أساسي في أمريكا القديمة، فيما قبل كولمبس، وكثرة عدد أصنافه، لتدل على تاريخ طويل لإستئناس هذا النبات.

ولكن كم يبلغ عمر الذرة كمحصول؟ من حسن الطالع أن الإجابة عن السؤال لم تعد تعتمد على الحدس والتخمين، فقد أصبح في الإمكان قياس عمر البقايا النباتية بتقدير كمية الكربون المشع فيها.

والفكرة التي بني عليها هذا القياس هي تقدير كمية الكربون المشع المتبقي في البقايا النباتية، ومن معرفة كمية الكربون المشع الذي امتصه النبات من الجو، يمكن حساب كمية الكربون المشع الذي فقدته المادة النباتية. ومن هذا يمكن حساب الزمن أي عمر المادة النباتية. وبهذه الوسيلة أمكن تقدير عمر أقدم بقايا الذرة التي وجدت في أمريكا الجنوبية بألف سنة قبل الميلاد، وتقدير عمر أقدم البقايا التي وجدت في أمريكا الشمالية بألفي سنة قبل الميلاد. وأكواز الذرة التي وجدت في هذه الحفائر القديمة أكواز صغيرة، وتختلف عن الأكواز الحديثة في بعض الصفات دون أن يسبب ذلك صعوبة في التعرف عليها. ومن ذلك نستنتج أن الذرة كان منذ ٤٠٠٠ سنة في طريق التطور إلى أن يكون محصول الحبوب الفذ الذي نعرفه في أيامنا هذه.

وهناك سؤال آخر: في أي جزء من أمريكا نشأ نبات الذرة، ومن أي الأنواع النجيلية البرية ولدت هذه الأصناف العديدة من الذرة التي نعرفها حالياً؟ تقول إحدى النظريات إن الذرة نشأ عن نبات يسمى الريانة، والريانة في الواقع هو أقرب النباتات شبهاً بالذرة، وله سنابل ذكرية منفصلة عن السنابل المؤنثة. والريانة كوز فيه عدد لا يتجاوز الخمس أو الست حبوب تغلف كل منها قشرة قرنية تجعل حبوب الريانة غير صالحة كطعام. وهو مثل الذرة في عدد الكروموسومات (١٠) مما يدل على القرابة بينهما. والتزاوج بينهما ميسور، وهجنهما خصيبة في أغلب الأحيان. فلو كان نبات الريانة هو أصل الذرة كما يفترض الكثيرون من علماء النبات، لكان لنا أن نقول إن الذرة نشأ في

جواتيمالا أو المكسيك لأن الريانة يوجد بريا في هاتين المنطقتين.

أما النظرية الثانية، فتقول إن الذرة نشأت في جنوب أمريكا من نبات قديم يسمى الذرة القرني، وهو نبات تم انقراضه ولا يوجد حالياً في صورة نقية، إنما يوجد كخليط في الأصناف الحديثة، ويمكن الحصول عليه بالتهجين بين بعض الأصناف المختلطة. ويوصف هذا الذرة في الكتب القديمة، بأن حبوبه مغلفة في قرن أو قشرة حرشفية، على نحو ما يشاهد في الحبوب الأخرى، ويبدو مؤكداً أن هذه صفة من صفات الذرة البري.

فأي النظريتين أقرب إلى الصحة؟ يعتمد علماء النبات، عند النظر في تحديد الموطن الأصلي للمحصول، على أمرين: الأول هو وجود أقارب برية النبات، والثاني هو وجود أصناف عديدة من المحصول. ومن المعروف أنه إذا تساوت العوامل البيئية الأخرى، فإن المنطقة التي يوجد فيها أكبر عدد من الأصناف تطابق منطقة النشأة، ذلك لأن التنوع فيها قد مضى عليه حين من الزمن أطول مما مضى على المناطق التي تقع بعيداً عن مركز النشأة. وفي حالة الذرة، يشير الأمران إلى منطقتين مختلفتين. ففكرة الأقارب البرية تشير إلى المكسيك وجواتيمالا حيث يوجد الريانة وهو أقرب النجيليات البرية شبهاً بالذرة، وفكرة تنوع الأصناف تشير إلى أمريكا الجنوبية حيث يوجد على سفوح جبال الأنديز عدد من أصناف الذرة يفوق عدد الأصناف التي توجد في أية منطقة أخرى من الأمريكتين.

وقد بدأ مؤلف هذا الفصل، منذ حوالي عشرين سنة، دراسات وراثية وخلوية على نبات الذرة بقصد تمحيص النظريتين المتضاربتين.

فأجرى دراسات على تهجين الذرة بالريانة لمعرفة الجينات التي تميز بينهما، ونهج توزيعها على الكروموسومات. كما أجرى دراسات على تهجين الذرة مع

نبات التربساك وهو من النجيليات البرية التي توجد في أمريكا الشمالية والجنوبية، والتربساك أقل شبهاً بالذرة من الريانة.

ودل تهجين الريانة والذرة، على أن الاختلافات بينهما لا تقتصر على عدد قليل من الجينات كما كان متوقعاً، بل تتضمن الاختلافات عدداً كبيراً من الجينات يتم توارثها في مجموعات. أما هجن التربساك والذرة فأظهرت أن كروموسومات التربساك وعددها ١٨ تختلف أشد الاختلاف عن كروموسومات الذرة، وأظهر الفحص الميكروسكوبي لخلايا التكاثر في هذا الهجين القليل من الازدواج بين الكروموسومات مما يدل على بعد وشائج القربى. على أن الدراسة كشفت عن بعض التجارب بين الكروموسومات مما يتيح الفرصة لتبادل بعض الجينات. ومن أهم النتائج التي أظهرتها هذه الدراسات، أن بعض نباتات الأجيال المتأخرة لهجن التربساك والذرة كانت قريبة الشبه جداً لنبات الريانة. وقد يدل ذلك على أن الريانة ليس أصل الذرة وإنما هو نتاجه او نتاج هجين طبيعي بين الذرة والتربساك. ومنذ أن ظهرت هذه الفكرة عام ١٩٣٧ تجمعت دراسات مستفيضة على الذرة والذرة القرني، والريانة، والتربساك، وهجنها. وتدل القرائن دون أن تقطع بالإثبات، على أن الريانة نتج عن تهجين بين الذرة والتربساك، وتدل على أن الريانة لا يمكن أن تكون أصل الذرة. وقد أيدت هذا الرأي الدراسات النباتية المقارنة بين هذه الأنواع. فهناك اختلاف بين الذرة والريانة في التواقت الضوئي؛ فالأول من نباتات النهار الطويل والثاني من نباتات النهار القصير، ويختلف النباتان في عدد التفرعات الأرضية، وفي بعض صفات السنبلة. وترجع هذه الاختلافات الثلاثة فقط، إلى صفات في ثمانية كروموسومات وعدد كبير من الجينات. ومن اليسير أن نقبل القول بأن هذه التغيرات الوراثية الجوهرية قد تمت خلال الأربعة الآلاف سنة التي مضت منذ

نشأ الذرة المستأنس.

وبذلك بدأت الشكوك تتجمع حول نظرية الأصل الرياني وازداد القول للنظرية القائلة بنشأة الذرة من الذرة القرني. وكلما استنبط هجين للذرة القرني وعرض للتلقيح الذاتي نشأ النتاج مخالفاً للذرة الحديث، فيختفي الكوز وتتكون الحبوب على فروع السنابل المتفرعة، وهي بعد محاطة بقنيبات وحراشيف مثلها في ذلك مثل حبوب النجيليات الأخرى. والذرة القرني النقي له القدرة على نثر حبوبه، لأنها لا توجد على قولحة صلبة بل على فريعات هشة، ولا شك أن لها القدرة على النمو الطبيعي والتكاثر حيثما سنحت الظروف المناسبة. والذرة القرني يتميز بصفات النجيليات البرية، وهو قريب الشبه، في صفاته النباتية من نبات التربساك البري. وفي نبات الذرة القرني كل الصفات التي ينتظر توفرها في أصل الذرة. أضف إلى ذلك أنها ليست من أقرباء الذرة، بل هي نوع من أنواع الذرة تختلف عنه بالقدر الذي تختلف به الأنواع البرية عن أقرانها الزراعية أضف إلى ذلك أن كل الخلافات الوراثية بين الذرة القرني والذرة العادي ترجع إلى جين واحد يقع على أحد الكروموسومات. أي أن طفرة واحدة كفيلة بتغيير هذا الجين وتحويل الذرة القرني إلى الذرة العادي. وقد أمكن محاكاة ذلك في البحوث المعملية.

لاشك أن الذرة الذي بدأ به الإنسان زراعته، يتضمن بعض الاختلافات إذا قورن بالذرة الذي نزرعه حالياً. فالحبوب كانت صغيرة وجامدة ومدببة. ومثل هذه الحبوب توجد حالياً في صنف الفشار حتى ليمكن أن يقال إن الذرة القديم كان القرني والفشار.

وفي حفائر ما قبل التاريخ التي اكتشفت في جنوب أمريكا، توجد بقايا الذرة الفشار على نحو يظهر سيادته على الأصناف الأخرى. ووجد في مقابر ما

قبل التاريخ في بيروفيا أدوات تفشير الذرة مع بقاياه والذرة المفشر طعام قديم. بل لعل الإنسان القديم اكتشف فائدة نبات الذرة عندما تعرضت بعض النباتات البرية لحرارة النار، مما سبب انفجار الحبوب الصغيرة عن أغلفتها وتحولها إلى غذاء طري لذيذ الطعم ومغذٍ.

ومن الطرائف التاريخية ما كتبه الحاكم الإسباني لبراجواي منذ حوالي مائة سنة، عن صنف من الذرة ينمو في براجواي، تكون حبوبه الصغيرة على فروع الشواشي. وعندما توضع هذه الشواشي في زيت ساخن تنفجر الحبوب وينتج عنها باقة رائعة "تليق بقبعات السيدات في الحفلات الساهرة". وفي إحدى التجارب التي أجراها مؤلف هذا الفصل، أمكن استنباط نوع من الذرة يتمثل فيه وصف الحاكم الإسباني، ذلك بتهجين الذرة القرني مع الذرة الفشار ثم تلقيح الهجين ذاتياً لإستنباط أجيال متوالية نتج فيها نبات بدون كيزان، ويحمل على فروع شواشيه (السنابل المذكرة) حبوب صغيرة تغلفها قنيبات.

شجعت هذه النتائج على توجيه البحث عن الأصل البري للذرة في أمريكا الجنوبية، لأن البرهان القاطع على صحة نظرية الذرة القرني، هو العثور على هذا النوع من الذرة في حالة برية. ولم يثمر البحث بعد عن النتيجة المرجوة، ولكن عثر على أصناف جديدة من الذرة القرني إذ تغلف حبوبها القنيبات تغليفاً غير تام. وربما يعثر على الصنف البري في أحد البقاع البعيدة التي لم تتم دراستها بالدقة والشمول. وربما ظهر أن هذا الصنف البري لم يعد له وجود، إذ من المقبول أن الذرة البري كان نباتاً ذا قدرة محدودة على التكاثر والبقاء، مما جعل لمدى توزيعه حدوداً ضيقة. وربما بدأ الإنسان العناية به وهو موشك على الانقراض.

وقد تم خلال السنوات القليلة الماضية اكتشاف هام أضاف دليلاً مباشراً

يؤيد النظرية القائلة بأن الذرة القديم كان نوعي الذرة القرني والذرة الفشار. ذلك أن بعثة أوفدت خلال صيف ١٩٤٨ إلى منطقة كهف الخفافيش في نيومكسيكو، وهي منطقة مهجورة كانت مسكونة خلال الفترة بين ٢٠٠٠ق.م. و ١٠٠٠ ق.م. كان هؤلاء السكان القدامى يلقون بالقمامة وغيرها من فضلات حياتهم في الكهف، حتى تجمعت خلال الأجيال المتعاقبة. وقد عثرت البعثة في أكداس القمامة على ٧٦٦ عينة لكيزان ذرة فشار، ١٢٥ حبة ذرة وبقايا عديدة للأغلفة القنابية والأوراق والشواشي. وقد كان لأكواز الذرة أهمية خاصة لأنها تمثل مراحل تطورية: الأقدم كان في أسفل طبقات القمامة وهي أصغرها. وتدل هذه الكيزان والحبوب التي جمعت من نفس طبقاتها، على أن أقدم أهل منطقة كهف الخفافيش كانوا يزرعون نوعاً من الذرة القديم يجمع بين صفات الذرة القرني والذرة الفشار.

أجابت هذه الاكتشافات عن تساؤلنا عن العلاقة بين الذرة والريانة. فأقدم البقايا في ذلك الكهف لا تظهر أي دليل على أن الريانة هو أصل الذرة. ولكن بقايا الطبقات الوسطى من أكداس القمامة، دلت على ظهور صنف من الذرة مشوب بالريانة. ولذلك فيمكن أن يقال إن الريانة قد أثر، في إحدى مراحل تطور الذرة. إذ أضاف إلى جينات الذرة بعض أسباب التقدم نحو الشكل الحديث، دون أن يكون الأصل الذي نشأ عنه الذرة.

على أن بقايا كهف الخفافيش لم تجب عن تساؤلنا عن الموطن الذي نشأ فيه الذرة. وبعيد عن القبول أن نظن أن موطن النشأة كان في المنطقة التي وجدت فيها بقايا كهف الخفافيش، لأن الذرة نبات يحب الرطوبة، وهذه المنطقة كانت وماتزال جافة. وربما استقدم الذرة إليها كمحصول من المكسيك، أو أن يكون قد سبق ذلك استيراده من أمريكا الجنوبية. كل ذلك مازال موضع

التساؤل.

كيف تطور الذرة القرني والفشار القديم، الذي كان يزرعه أهل كهف الخفافيش منذ ٤٠٠٠ سنة، في هذه المدة الوجيزة بمقاييس التطور إلى الذرة الحديث؟ يقول بعض العلماء إن الهنود الأمريكيين كانت لهم قدرة فائقة على تربية النبات، والظن بأن هذا التغير الكبير، في نبات الذرة خلال هذه الفترة الوجيزة، نتيجة لمهارة الإنسان يفترض مواهب خارقة لهذا الإنسان القديم. على أن بقايا الذرة التي وجدت في كهف الخفافيش لا تؤيد هذا الرأي. والإنسان القديم كان يمارس نوعاً من الانتقاء السالب، إذ كان يتخير لطعامه أطيب السنابل، ويترك العجاف للبذور. والمعقول هو أن التهجين الطبيعي بين الريانة والأصناف الأخرى من الذرة نتج عنه زيادة مطردة في حجم الكوز وحجم الحبوب وغير ذلك من التغيرات.

ويدل التتابع التطوري في بقايا كهف الخفافيش على أن هناك عوامل أربعة تأثر بها تطور الذرة خلال هذه المدة، وهي:

١- تقليل ضغط الاختيار الطبيعي، وهو عامل هام من عوامل تأخير التطور. ولو ترك الذرة تحت تأثير الاختيار الطبيعي، بدون معاونة الإنسان، لانتهى أمره من زمن بعيد.

٢- الطفرات التي غيرت الصفات المميزة للذرة القرني.

٣- تغير الذرة بالاختلاط مع الريان.

٤- التزاوج بين الأصناف والسلالات نتج عنه تجميع بعض الصفات، كما نتج عنه قابلية فائقة للتهجين.

وقد عاونت هذه العوامل جميعاً على زيادة ضخمة في التغير، وكان نتيجة

ذلك أن أصبح لدى الإنسان أصناف عديدة من الذرة ليتخير منها ما يشاء. وقد تخير الإنسان فعلاً، سواء بالمصادفة أو عن عمد، الأصناف التي تجمع المميزات العديدة التي تجعل الذرة أكفأ محصول زراعي في إعداد المواد الغذائية. وكوز الذرة الحديث يمثل تركيباً نباتياً عظيم الفائدة، فالقولحة الضخمة تحمل الحبوب، وبها جهاز ضخم من الأوعية التي تنقل الغذاء إلى الحبوب النامية. وللكوز مجموعة موحدة من الأغلفة القنابية، بدل القنيبات التي كانت تحيط كل حبة على حدة، وتقلصت القنيبات إلى بقايا ضامرة غير ذات أهمية. وقد جاءت عناصر القوة اللازمة لحمل هذه النورة المتضخمة من الريانة نتيجة التهجين. ذلك لأن الريانة هو مصدر جينات القوة والصلابة، حتى لتشبه العلاقة بين الريانة وكوز الذرة الحديث بالعلاقة بين الصلب وناطحات السحاب.

ولعل هناك نوعاً من التشابه بين تصميم كوز الذرة وتصميم ناطحة السحاب، وكلاهما ضخم قوي ذو كفاءة وقدرة، ويمتاز بحسن التصميم للقيام بالأعباء المنوطة به، وكلاهما جميل ورائع.

الفصل الثالث

الذرة الهجين

نجح الإنسان خلال الخمس والعشرين سنة الماضية في أن يستنبط، بوسائل صناعية، الذرة الهجين. وربما أثبت المستقبل أن إنتاج الذرة الهجين هو أهم ما أضافته علوم البيولوجيا التطبيقية للثروة الإنسانية، وأبعدها أثراً.

فقد حقق الذرة الهجين، مع ما صاحب زراعته من تحسين في طرق الفلاحة، ثورة زراعية في الولايات المتحدة الأمريكية زادت من إنتاج الذرة مع زراعة مساحات من الأرض أقل. ولقد كان لهذه الزيادة في الإنتاج الغذائي، التي نتجت عن زراعة الذرة الهجين، أثر عظيم في المجهود الحربي خلال الحرب العالمية الثانية، وفي الجهود التي بذلت لتعمير أوربا فيما بعد الحرب. وأتاح هذا النجاح للذرة الهجين الانتشار في الأمريكتين وأوربا والآتحاد السوفيتي، مما يبشر بنتائج عظيمة في حل مشكلة الغذاء العالمي. فما هو الذرة الهجين، وكيف تسنى له هذا الأثر البارز في إنتاج الغذاء في العالم؟

يمكن أن يقال إن كل أصناف الذرة هجن. لأن الذرة واحد من نباتات التلقيح الخلطي الذي لا ينقطع فيه التهجين بين الأفراد، وبين الأصناف. وقد كان لهذا التهجين التلقائي أبلغ الأثر على تطور الذرة منذ أن تم استئناسه كمحصول زراعي على نحو ما شرحنا من قبل.

ولكن الذرة الهجين الذي سنتناول أمره في هذا الفصل، تتمثل فيه استغلال واسع النطاق، على نحو لا تتيحه الظروف الطبيعية، لظاهرة التلقيح

الخلطي ويسر التهجين.

والأساس البيولوجي للذرة الهجين، هو ظاهرة وراثية تسمى "قوة الهجين". ومضمون هذه الظاهرة أنه إذا هجنت الحيوانات أو النباتات كان نتاجها أقوى وأقدر على النمو من نتاج التلقيح الذاتي. وقد عرف الإنسان هذه الحقيقة منذ القدم عندما استنبط هجيناً عقيماً– بأن زاوج بين الحصان والحمار– هو البغل. وتتمثل في هذا الحيوان قوة الهجين، فهو أشد احتمالاً من والديه، وأطول عمراً من الحصان. وأكثر مقاومة للأمراض، وأعظم كفاءة في الإفادة من الغذاء. والذرة الهجين يشبه البغل فيما يمتاز به عن والديه من الصفات.

وفكرة تهجين الذرة قديمة قدم قبائل الهنود الأمريكيين، فقد كان من شأنهم أن يزرعوا أصنافاً مختلفة من الذرة في الحقل الواحد مما يساعد على إنتاج الهجن ويزيد الغلة. على أن الدراسات الهامة عن موضوع قوة الهجين، يرجع فضلها الأول إلى شارلس دارون؛ فقد درس أثر التلقيح الذاتي والتلقيح الخلطي على عدد من النباتات، كان منها الذرة. وكانت تجارب دارون هي أول ما تناول دراسة نتاج التلقيح الذاتي والتلقيح الخلطي ومقارنة نموها تحت ظروف تجريبية واحدة. وكان أول من لاحظ أن العبرة في التهجين بين الأصناف المختلفة من النبات وليس في عملية التلقيح الخلطي ذاتها، فقد وجد أن التلقيح الخلطي بين الأزهار المختلفة على النبات الواحد، أو الأزهار المختلفة لنباتات السلالة الواحدة، لا ينتج عنها هجن قوية. واستنتج أن ظاهرة قوة الهجين تتمثل في التزاوج بين تراكيب وراثية مختلفة.

وقد فتحت هذه الدراسات– بالإضافة إلى نظريته عن التطور– آفاقاً جديدة لدراسة الوراثة مما أفضى مؤخراً إلى تفهم المبادئ الأساسية لإنتاج الذرة الهجين.

وتابع هذه الدراسات كثير من العلماء الأمريكان، كان من أولهم وليم بيل (جامعة متشجن) الذي أجرى عدة تجارب تستهدف تحسين الذرة بإستغلال ظاهرة قوة الهجين، تخير صنفي الذرة الصواني والذرة النشاوي وكانا وقتئذ واسعي الانتشار، وزرع الصنفين معاً في حقل واحد منعزل عن حقول الذرة الأخرى، فلما نمت السنابل الذكرية قطعها قبل النضج عن نباتات صنف واحد دون الآخر. وبهذه الطريقة تلقت الأزهار المؤنثة في النباتات المخصية حبوب اللقاح من نباتات الصنف الآخر، ونتج عن ذلك حبوب هجين، تنمو عنها نباتات هجين في الموسم التالي. وما تزال طريقة بيل هذه تستعمل إلى يومنا هذا في إنتاج تقاوي الذرة الهجين. ولكن بيل كان يهجن بين صنفين غير منتقين من الذرة، تتمثل في كل منهما أخلاط وراثية فلم يكن لهذا التهجين أثر يذكر في زيادة الغلة أو أن الزيادة لم تكن تتناسب مع المجهود والوقت والعناية اللازمة لإتمام عملية التهجين على النحو الذي وصفناه.

وقد أظهرت الدراسات الأكاديمية النظرية، التي قام بها علماء كثيرون في أمريكا وبريطانيا والدانمرك وغيرها، ما خفي على بيل.

والفكرة في هذه الدراسات أن التزاوج بين الوالدين قد ينتج عنه توريث متبادل أو توريث مختلط. أما المتبادل فهو أن يرث الأبناء صفة واحدة من الوالدين، والمختلط هو أن يرث الأبناء خليطاً من صفات الوالدين معاً وهو ما يحدث في الإنسان. ويلاحظ في هذا الشأن أن أطفال والدين طويلين يكونون أقل طولاً من والديهما، وأطفال والدين قصيرين يكونون أطول من والديهما. يقال لهذه الظاهرة: "قانون التراجع" أي أن صفات الأولاد تتجه نحو المتوسط إذا كانت صفات الآباء زائدة أو ناقصة عن هذا المتوسط.

على أن هذا التراجع نادراً ما يصل إلى غاية مداه، مما قد يدل على إمكان

التحكم في الصفات الوراثية بالانتقاء المتوالي (من الأجيال المتتابعة) للصفات الخاصة. مثال ذلك محاولة استنباط نباتات فول بالغة الطول، أو بالغة القصر بطريقة الانتقاء من الأجيال المتتابعة.

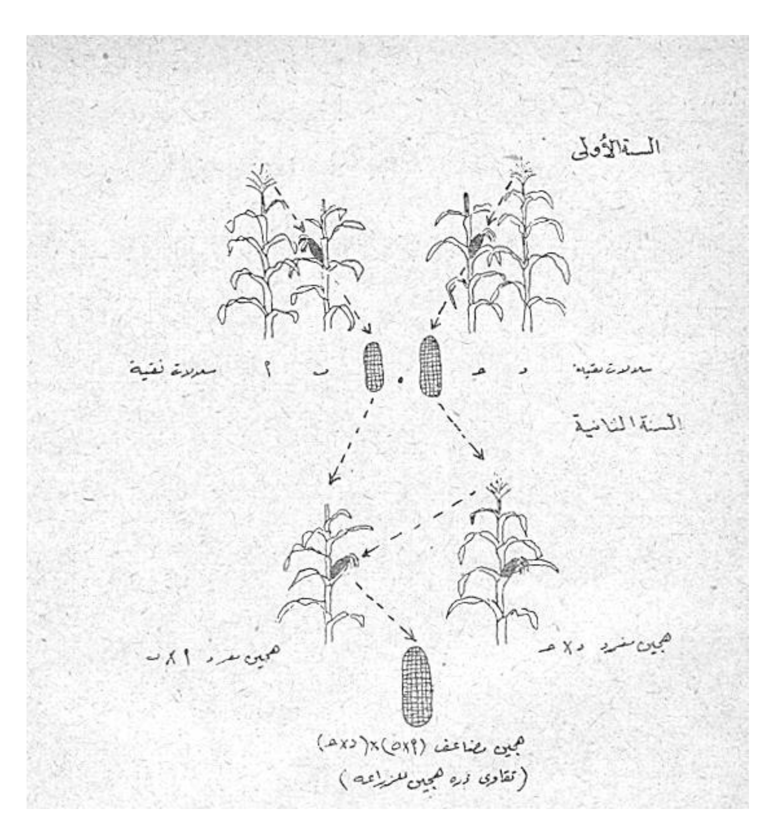
ولكن التجارب أظهرت أن للانتقاء أثراً في الجيل الأول دون الأجيال التالية، وتعليل ذلك أن أبناء النبات الواحدة من نبات التلقيح الذاتي (مثل الفول) تتمثل فيها صفات الخط النقي، أي أن للأفراد تركيباً وراثياً واحداً وأن الخلافات بينها ترجع لظروف البيئة. ويقال إن كل سلالة غير منتقاة، مثل الفول العادي، تتضمن خليطاً من خطوط نقية لكل منها صفات مميزة، ويتمثل في كل منها على حدة تركيب وراثي واحد. ويمكن لذلك العمل على فصل هذه الخطوط المختلطة في السلالة غير المنتقاة. وقد وجدت هذه الفكرة مجالات للتطبيق في تحسين أصناف الحبوب وغيرها من نباتات التلقيح الذاتي. والكثير من سلالات القمح والشوفان والشعير والأرز وذرة العويجة والكتان التي تزرع حالياً هي خطوط نقية استنبطت من غربلة الأصناف المختلطة، وتخير السلالات النقية الممتازة وتربيتها وإكثارها.

اعتمد جورج شول، في دراساته التي بدأها عام ١٩٠٥، على هذه الآراء النظرية في تربية الذرة، وخلص إلى نتائج باهرة. بدأ دراساته بقصد تحليل مناهج وراثة الصفات ذات الطابع الكمي تخير صفة عدد صفوف الحبوب في كوز الذرة بإعتبارها صفة وراثية ذات طابع كمي، واستعمل طريقة التلقيح الذاتي لإستنباط عدد من الخطوط تتمثل فيها أعداد مختلفة من صفوف الحبوب. ونتيجة للتلقيح الذاتي المتتابع ظهرت على هذه الخطوط النقية علامات التدهور في قوة النبات وإنتاجيته، ولكنها أصبحت موحدة الشكل والطابع، ويعني ذلك أنها خطوط نقية من الناحية الوراثية. وقد تابع شول دراسته بأن زاوج بين هذه

الخطوط النقية بقصد دراسة توارث صفات عدد صفوف الحبوب، وكانت النتيجة غريبة وعظيمة المغزى: كانت نباتات الهجين موحدة الطابع وتميزت عن والديها بالقوة الإنتاجية. ويدل ذلك على أن عمليات التلقيح الذاتي المتتابعة عزلت من الصنف المختلط الوحدات الوراثية المختلفة التي اشتمل عليها، والتي ينتج من خلطها قوة الهجين التي قال بها دارون.

واتضح من هذه الدراسات أن لعمليات التلقيح الذاتي الذي يتبعه تزاوج خلطي إمكانيات جديدة في تحسين إنتاجية الذرة. الخطوة الأولى هي عزل السلالات النقية، والخطوة الثانية هي التهجين بين بعض هذه السلالات. ويستعمل الهجين الأول كبذور لإنتاج المحصول لأن قوة الهجين تكون فيه على أشدها.

ثم بقيت مرحلة استغلال هذه الطريقة الجديدة استغلالاً عملياً وعلى مدى واسع. وجاء ذلك على يد باحث آخر هو إدوارد م. إيست الذي بدأ عام ١٩٠٦ دراساته في إحدى محطات الأبحاث الزراعية، إذ وجهت أبحاثه الأنظار إلى أهمية إيجاد طريقة عملية لإنتاج بذور الذرة الهجين. وقد توصل إلى الحل أحد تلاميذه وهو دونالد جونز الذي تولى أمر هذه المحطة في عام ١٩١٥، إذ رأى أن يعتمد في إنتاج البذور على التزاوج المضاعف وهو تزاوج يجمع بين أربعة سلالات نقية، ويختلف عن التزاوج المفرد الذي يجمع بين سلالتين. ونفترض على سبيل المثال أن سلالتين أ، ب تزاوجا ونتج عنهما هجين أ × ب، وأن سلالتين جـ ، د تزاوجا ونتج عنهما هجين حـ × د، فإذا تزاوج الهجين الأول والهجين الثاني، نتج عن ذلك التزاوج المضاعف هجين أ ب ×حـ د– أنظر الرسم (شكل ١١).



(شكل ١١)

إنتاج تقاوي الذرة الهجين. النباتات الأربع الأولى سلالات نقية يتم بينهما التزاوج الخلطي فتنشأ هجن مفردة عندما يتم التزاوج الخلطي بينهما، ينتج هجين مضاعف هو التقاوي التي تزرع في الحقول.

من ذلك يمكن تلخيص قصة الذرة الهجين إلى مرحلة الدراسات النظرية عن قوة الهجين والتي وضع شول أسسها، ومرحلة التحقيق العملي لهذه الآراء النظرية ووضع أسسها جونز. وقد حقق هذا التلاقي بين البحث النظري والتجربة التطبيقية نصراً في المجالات التطبيقية لم يستطع مقاومته أشد المزارعين محافظة وتمسكاً بالقديم. وبدأت فيما بعد سنة ١٩١٧ برامج تربية الذرة الهجين في بعض الولايات الأمريكية، وما إن جاءت سنة ١٩٣٣ حتى تحقق إنتاج الذرة

الهجين إنتاجاً تجارياً واسع النطاق، وتولت وزارة الزراعة الأمريكية تجميع الإحصاءات والبيانات عنه. وفي عام ١٩٥٠ بلغت مساحة الأرض المزروعة بالذرة الهجين في الولايات المتحدة ما يربو على ثلاثة أرباع الأرض الزراعية أي ما يساوي حوالي ٦٥ مليون فدان.

ويتم إنتاج الذرة الهجين حالياً بطريقة تتضمن ثلاث خطوات رئيسية. ويحسن بنا قبل أن نعرض لهذه الخطوات أن نشرح في اختصار الطريقة التي ينتج بها الذرة حبوبه، فنبات الذرة يتميز عن نباتات محاصيل الحبوب الرئيسية بأن النبات الواحد يحمل نورات الأزهار المؤنثة منفصلة عن نورات الأزهار المذكرة. الأولى وهي الكوز تحمل عدة مئات من الأزهار المؤنثة تغلفها جميعاً أغلفة قنابية، ولكل زهرة خيط حريري هو الميسم الذي يستقبل حبوب اللقاح.

أما الثانية، وهي الشوشة العليا، فتحمل أكثر من ألف زهرة ذكرية، لكل منها ثلاثة أسدية تحمل المتك أو أكياس حبوب اللقاح، وفي كل كيس حوالي ٢٥٠٠ حبة لقاح. أي أن كل نبات ناضج يحمل نورة مذكرة وينتج عدة ملايين من حبوب اللقاح في غضون موسم الإزهار، وهي حبوب صغيرة الحجم خفيفة الوزن، سهل على الريح حملها، ولذلك فنادراً ما تقع حبوب اللقاح على مياسم الأزهار المؤنثة التي يحملها النبات نفسه، بل يحملها الريح إلى نباتات أخرى أي أن التلقيح الخلطي هو النظام السائد في الظروف الطبيعية، ولذلك فتجارب التلقيح الذاتي تستلزم احتياطات خاصة بإستعمال أكياس خاصة من مواد شبه زجاجية أو نحوها من الأغشية. تغطي الكيزان قبل ظهور خيوطها الميسمية بهذه الأكياس الخاصة، وبعد أيام قليلة تغطي النورات الذكرية بمثل هذه الأكياس ليتجمع فيها حبوب اللقاح، وتكفي حبوب اللقاح التي تتجمع من نورة واحدة

لتلقيح عدة مئات من الكيزان يحمل كل كوز عدة مئات من حبوب الذرة.

وتتضمن المرحلة الأولى من مراحل إنتاج الذرة الهجين عزل السلالات النقية، وطريقة ذلك (كما أظهرت دراسات شول وإيست التي أشرنا إليها) هي التلقيح الذاتي. وتتم حالياً مئات الألوف من عمليات التلقيح الذاتي في الذرة كل عام، تستعمل فيها عدة أطنان من الأكياس الورقية الخاصة بهذه العملية حتى راجت صناعة الأكياس.

والتلقيح الذاتي يتبعه تزاوج ذاتي أي أن يصبح النبات الواحد هو الأب والابن لبنية. والواقع أن بعض أنواع الحبوب، كالقمح والأرز والشعير والشوفان، يتم فيها التلقيح الذاتي طبيعياً دون أن يكون له أثر سيء على حياة الأجيال المتوالية. ولكن الذرة، وهو واحد من نباتات التلقيح الخلطي، يتأثر أوضح التأثر بالتلقيح الذاتي. وأول ما يلاحظ على الأجيال المبكرة التي ينتجها هذا التلقيح، ظهور كثير من الشذوذ الوراثي كالحبوب المشوهة، والنباتات القزمة، والنباتات البيضاء أو المخططة باللونين الأبيض والأخضر، وغير ذلك من علامات النقص في مادة الكلوروفيل. وقد كان المظنون في أول الأمر أن هذه النباتات الشاذة نتجت عن الطريقة غير الطبيعية للتزاوج. ولكن الرأي المقبول حالياً هو أن التلقيح الذاتي يتيح الفرصة لظهور بعض الصفات السيئة الموجودة فعلاً، ولو أنها مختفية لأنها صفات متنحية. والتلقيح الذاتي يتيح للمربي أن يكشف عن هذه المثالب المخفية ويعزلها ثم يتخلص منها نهائياً.

ويتابع المربي عمليات التزاوج الذاتي جيلاً بعد جيل، حتى تتم خمسة أحيال أو ستة، تصل بها السلالات إلى درجة واضحة من الانتظام؛ فنباتات السلالة الواحدة متشابهة في التركيب الوراثي، وينطبع هذا على تشابهها التام في الصفات المحسوسة كافة سواء من الناحية الشكلية أو الناحية الفسيولوجية.

ولكن السلالات النقية جميعاً أقل إنتاجاً من الصنف المختلط الذي بدأت به هذه المرحلة حتى إن محصول أفضلها قد لا يصل إلى نصف محصول الصنف العادي. ولكن قيمتها الكبرى في إمكان استغلالها كآباء لإنتاج الهجن المطلوبة.

وتتيح هذه المرحلة– التي يمكن تسميتها مرحلة التزاوج الذاتي والاختيار– لمربي الذرة درجة عظيمة من التحكم في وراثة الذرة.

ولم تعد أهداف المربين مقصورة على زيادة الإنتاج، إنما تستهدف صفات أخرى مثل صلابة الساق حتى يبقى قائماً خلال الخريق مما ييسر الحصاد الآلي. وبعض المربين يستنبطون أصنافاً من الذرة الهجين تحمل كوزين أو ثلاثة من الكيزان الصغيرة، بدلاً من الكوز الواحد الكبير مما يناسب الآلات الزراعية. كما أن مقاومة الجفاف من الصفات التي يسعى إليها المربون وخاصة بعد موجة الجفاف التي عمت أمريكا في الثلاثينيات من هذا القرن. ومثل ذلك يقال عن مقاومة الأمراض المختلفة التي بلغ النجاح فيها درجة إنتاج هجن من الذرة تقاوم الحشرات والآفات، كبق الذرة وديدان الجذور وديدان الكيزان وسوس الكيزان والجفاف وثاقبات الحبوب وحشرات المن وغيرها.

ونعود إلى مراحل إنتاج الذرة الهجين قلنا إن المرحلة الأولى هي إنتاج السلالات النقية بطريقة التزاوج الذاتي. المرحلة الثانية هي اختيار السلالات وقدرتها على التزاوج المختلط أي التهاجن. والطريقة المعتادة هي اختيار أولي للتزاوج بين مجموعة السلالات النقية مع صنف واحد من أصناف التلقيح الخلطي. وبهذا الاختيار الأول يتمكن المربي من استبعاد بعض السلالات الضعيفة. أما السلالات التي تبدو مميزاتها فيجرى عليها الاختيار الثاني، وهو اختيار التزاوج المفرد والتزاوج المضاعف، وفي العادة يجتاز هذه الاختيارات واحد أو أثنان من كل مائة سلالة نقية تبدأ بها الاختبارات.

أما المرحلة الثالثة، فهي تزويج السلالات النقية المختارة لإنتاج هجن تصلح للاستغلال الاقتصادي، ويتم إنتاجها بالتزاوج المفرد أو المضاعف.

ففي إنتاج أصناف الذرة السكرية التي تصلح للتعليب يراعى أن حجم الكيزان وشكلها أهم في الاعتبار من نفقات إنتاج التقاوي. ولذلك يكون إنتاجها بالتزاوج المفرد. أما أصناف الذرة الأخرى فإن نفقات إنتاج التقاوي تؤخذ في الاعتبار، ولذلك تستعمل طريقة التزاوج المضاعف. ويقدر أن قطعة معينة من الأرض مع قدر معين من المجهود العملي تنتج من ذرة التزاوج المضاعف ضعفين أو ثلاثة أضعاف ما تنتجه من ذرة التزاوج المفرد.

ولما كان الملاحظ أن نباتات الجيل الثاني لأي هجين تفقد الكثير من الصفات التي يتميز بها الجيل الأول، فإن زراعة التقاوي المهجنة تقتصر على الجيل الأول. أي أن على المزارع أن يشتري تقاوي جديدة لكل موسم زراعي جديد، حتى أصبح إنتاج تقاوي الذرة الهجين من المناشط المتخصصة الضخمة التي يمكن أن تقارن بصناعة الأدوية. ويوجد في السوق حالياً مئات من أصناف الذرة الهجين لكل منها ميزة خاصة وتلائم كل منها الأنواع المختلفة من الأرض ومن المناخ. وأصناف الذرة الهجين، مثل أصناف اللقاحات والأمصال، لايمكن تمييزها بالشكل الظاهري. ذلك لأنها تختلف في التركيب الوراثي الذي يميز هجيناً عن الآخر مما يظهر أثره في نمو النبات وإنتاجه.

على أن التوسع في الاعتماد على الذرة الهجين في الولايات المتحدة حتى كاد يصبح شاملاً. وما يتوقع من الاعتماد على زراعته في مناطق أخرى من العالم، لايخلو من بعض المخاطر. وأهمها أن زراعة أصناف التلقيح المفتوح أصبحت في اضمحلال حتى كادت تنقرض، وهي الأصل الذي استنبطت منه السلالات النقية التي دخلت في تكوين الهجن الجديدة. والحرمان من هذه

المنابع الطبيعية الأصلية قد يؤدي إلى الحد من إمكان تحسين أنواع الهجن التي تم استنباطها، وإلى استحالة استنباط هجن جديدة تقاوم الأمراض الجديدة أو الآفات الحشرية التي يتفشى خطرها فجأة. بل قد تفقد الهجن قدرتها على الملاءمة لتغيرات المناخ. أما أصناف التلقيح المفتوح التي يتم فيها التلقيح الخلطي، فلها القدرة على المحافظة على المرونة الوراثية والقدرة وكذلك على البقاء رغم ما قد تتعرض له الظروف البيئية من التغيرات. أما الصنف الواحد من الذرة الهجين فيتمثل فيه جزء مختار من المجموع الوراثي، ولذلك فليس له القدرات التي تتميز بها أصناف التلقيح المفتوح.

تنبهت وزارة الزراعة الأمريكية لهذا الخطر، واتخذت لدرئه الأهبة بالمحافظة على أصناف الذرة ذات التلقيح المفتوح. ومثل ذلك في الأهمية المحافظة على الأصناف المحلية بالولايات المتحدة وغيرها من دول أمريكا اللاتينية، فكثير من الأصناف الأمريكية يرجع أصلها إلى المكسيك، وأصناف المكسيك ترجع صلاتها القديمة بأمريكا الوسطى والجنوبية. وهذه الأصناف قد تصبح في وقت ما ذات أهمية قصوى كمورد لبعض الصفات التي تلزم لتحسين أنواع الذرة، أو ربما لإنقاذها.

ولنتساءل الآن: ماهو مستقبل الذرة الهجين؟ تتوقف إجابة هذا السؤال على اهتمامنا بالأبحاث الأساسية في علم وراثة الذرة. ومما يؤسف له أن التقدم العلمي في هذه الميادين لم يواكب تقدم الاستغلال الإقتصادي، حتى ليقال أن التطبيق العملي يستنزف الرصيد العملي دون أن يتخذ الخطوات اللازمة للإضافة إلى هذا الرصيد.. ومازالت أمامنا غوامض علمية تحتاج إلى إيضاح، منها التعرف على الأساس الوراثي لظاهرة قوة الهجين وهو موضوع له طابع أكاديمي وله أيضاً أهمية تطبيقية في مجالات تربية الذرة.

الواقع أن المجال ما يزال فسيحاً للإفادة من معارفنا الحالية. وقد بدأت الأنظار تتجه إلى استنباط سلالات من الذرة ذات صفات خاصة تصلح لأغراض خاصة. منها استنباط أصناف من الذرة الأبيض، أي الذي لا يحوي الكاروتين، ويستعمل هذا الصنف الخاص في صناعة جريش الذرة، واستنباط أصناف من الذرة الشمعي تحوي حبوبها كميات من مادة الأميلوبكتين (من السكريات) التي تصلح لأغراض صناعية عديدة منها صناعة دقيق الطبيوقة، واستنباط أصناف غنية في المادة البروتينية لتصلح علفاً لماشية، وأصناف غنية بفيتامين ب الذي يفتقر إليه الذرة العادي.

ويبشر المستقبل أيضاً بتحسين وسائل إنتاج الأصناف الجديدة، وتجرى الآن تجربة طريقتين لإستنباط السلالات النقية دون الحاجة إلى الأجيال المتعاقبة من التلقيح الذاتي. وتعتمد الطريقة الأولى على الإفادة من النباتات أحادية الكروموسومات؛ وهي نباتات توجد طبيعياً وتكون في الغالب ضعيفة عقيمة وليس لها قيمة ذاتية.

ولكن إذا ضوعفت عدد الكروموسومات فيها بمعالجتها ببعض المواد الكيميائية مثل مادة اللحلاح، أو أن يحدث هذا التضاعف الكروموسومي تلقائياً، نشأت أفراد ثنائية الكروموسومات تتميز بالنقاء الوراثي بل هي أنقى من السلالات النقية التي تولد بالتزاوج الذاتي المتتابع.

والطريقة الثانية تعتمد على معاملة الحبوب بأشعة إكس التي قد تسبب تمزق الكروموسومات، وينتج عن ذلك إستحالة الإزدواج الكروموسومي بينها وبين الكروموسومات الطبيعية إذا تم التهجين بينهما. ومثل هذه الهجن إذا نمت، وتكاثرت بالتلقيح الذاتي، نتج عنها ثلاثة أنواع من النبات، يشتمل أحدها على كروموسومات طبيعية فقط، ويتمثل فيه سلالة نقية تشبه نتاج

التزاوج الذاتي المتعاقب.

ومن التطورات المتوقعة في مجالات إنتاج الذرة الهجين، تبسيط عمليات التطويش أي تقطيع السنابل الذكرية، وهي عملية تقتضي الكثير من الجهد والنفقة. فيلزم أن تجند مؤسسات إنتاج التقاوي الهجين كل صيف آلاف العمال المؤقتين (يبلغ عددهم ١٢٥٠٠٠ في الولايات المتحدة) أغلبهم من طلبة المعاهد العليا. وتمرينهم على هذا العمل قبل أن يقوموا به. وقد بذلت جهود متعددة دون جدوى لمحاولة تبسيط هذه العملية. على أن الأمل معقود على طريقة جديدة تعتمد على شكل من أشكال العقم الذكري في الذرة يمنع السنابل الذكرية من التفتح ونثر حبوب اللقاح. وقد ظهر أن توارث هذه الصفة لا يتم عن طريق الجينات الكروموسومية إنما عن طريق مادة الخلية الحية (السيتوبلازم). ولقد ثبت أن من الممكن إدخال هذه الصفة في السلالات بواسطة التزاوج. وبذلك يمكن الإستغناء بها عن عمليات التطويش. فإذا هجنت أي سلالة ذات سنابل ذكرية عقيمة مع سلالة غير عقيمة، كان للهجين المفرد الناتج سنابل ذكرية عقيمة. ويمكن الإفادة من هذا الهجين في تربية هجن التزاوج المضاعف وهي أيضاً عقيمة السنابل الذكرية، ولكن نوراتها المؤنثة يمكن أن تتلقى حبوب اللقاح من أصناف أو هجن أخرى تزرع معها في نفس الحقل. وفي هذا كله استغلال للصفات الوراثية للسيتوبلازم لإستنباط العقم في الحالات التي يصبح العقم فيها ميزة. وقد بدأ الإنتاج التجاري للتقاوي الهجين بالاعتماد على هذه الطريقة منذ ١٩٥١.

ويتمثل في موضوع الذرة الهجين إمكان التعاون بين النظرية والتطبيق. فالهدف هو العمل على تحسين الذرة، ولكن إنتاج الذرة الهجين اعتمد أساساً على الدراسات والبحوث النظرية والأكاديمية التي تستهدف أصلاً الإضافة

العلمية إلى معارفنا في علوم الوراثة. ومثل هنا التقدم يزدهر أكثر ما يزدهر في المجتمعات الحرة التي يكون فيها البحث عن الحقيقة لذاتها ذوو المبالغة بالاهتمام بأوجه المنافع المباشرة. وفي حالة الذرة الهجين نجد أن المربي يرجع بأصنافه القهقري قبل أن يعود إلى التقدم. فالخطوة الأولى كما بينا هي التزاوج الذاتي الذي يقضى واضح في المحصول. ولعل الأهمية العظمى لموضوع الذرة الهجين أنه يمثل ما يمكن أن تحققه علوم الوراثة التطبيقية في زيادة إنتاج الطعام في العالم، إذ حقق الذرة الهجين في هذا الصدد أموراً عظيمة نذكر منها مثالين.

المثال الأول: انتجت المزارع الأمريكية خلال الأعوام الثلاثة ١٩٤٢–١٩٤٤، رغم نقص الأيدي العاملة والظروف المناخية غير الملائمة، ما يعادل ٩٠٪ من مجموع الذرة الذي انتجته هذه المزارع خلال الأعوام الأربعة السابقة، وكانت أعوام سلم وكان الإنتاج فيها فوق المعتاد. أي ان الاعتماد على الذرة الهجين رفع الإنتاج بمعدل ٢٠٪ ولذلك لم تتعرض الولايات المتحدة لنقص في الاحتياجات الغذائية في الداخل، واستطاعت أن تزود حلفاءها بكميات كبيرة من الطعام، وأن تجد لديها بعد ذلك الفائض الذي تحتاجه بعض الصناعات مثل صناعة الكحول والمطاط الصناعي والمتفجرات وغيرها من المواد الحربية.

المثال الثاني: كان لفائض الإنتاج الغذائي في أمريكا أثر عظيم في إغاثة أوربا بعدما وضعت الحرب العالمية الثانية أوزارها. ففي غضون عام ١٩٤٧ بعثت الولايات المتحدة إلى أوربا ١٨ مليون طن من الأغذية، وهو ما يعادل ٧٢٠ مليون بوشل من الذرة. وقد بلغت الزيادة في إنتاج الذرة خلال ذلك العام في الولايات المتحدة، حوالي ٨٠٠ مليون بوشل ذلك بفضل إستعمال التقاوي الهجين. أي أن الزيادة في إنتاج محصول واحد كانت تساوي النقص

الغذائي الذي تحتاجه أوربا وتزيد.

وقد كان لإدخال الذرة الهجين آثار كثيرة على الزراعة والاقتصاد الزراعي. فالمزارعون الذين خبروا فائدة الذرة الهجين، بدأوا يتطلعون إلى محطات التجارب والبحوث مترقبين غيره من المبتكرات. أضف إلى ذلك أن إرتفاع أسعار التقاوي الهجين حتمت الاهتمام الفائق بزيادة الغلة وتبع ذلك التوسع في إستعمال الأسمدة، والدورات الزراعية المناسبة، وزراعة المحاصيل التي تحسن الأرض كالبقوليات التي تزيد من مركبات النتروجين في التربة. وكانت نتيجة ذلك كله أن الزيادة في الإنتاج في المزارع والحقول بلغت ٥٠% أي أنها فاقت الزيادة التي حققتها محطات التجارب والبحوث والتي تراوحت بين ٢٠ و ٣٠% . كان متوسط إنتاج الفدان في الولايات المتحدة في الثلاثينيات حوالي ٢٢ بوشل، فأصبح بفضل الذرة الهجين في الأربعينات حوالي ٣٣ بوشل، ويصل الإنتاج في بعض المناطق ذات الظروف المناسبة ١٠٠٠ بوشل، وتقول بعض التقارير إن الإنتاج في بعض الحقول زاد على ٢٠٠ بوشل للفدان الواحد. وترجع هذه الزيادة إلى إستعمال التقاوي الهجين وإلى تحسين طرق الفلاحة والعناية بالأرض.

وقد كان النجاح الذي حالف الذرة الهجين في أمريكا حافزاً على إدخاله إلى غيرها من البلاد. وكانت إيطاليا من أوائل البلاد التي أدخلت الذرة الهجين، فاستوردت في عام ١٩٥٠ التقاوي ما يكفي لزراعة مليون فدان. كما انتشرت زراعته في دول أمريكا اللاتينية، نذكر منها على سبيل المثال المكسيك التي بدأت في إدخال الذرة الهجين في عام ١٩٤٣، وبعد خمسة أعوام أي في عام ١٩٤٨، بلغ إنتاج الذرة في المكسيك ما يكفي احتياجاتها، وكان ذلك لأول مرة في تاريخ المكسيك منذ بدأت ثورتها في عام ١٩١١. وللذرة أهمية خاصة

في المكسيك فهو الطعام الأساسي للملايين من السكان.

والذي تحقق في الذرة الهجين يمكن أن يتحقق في غيره من المحاصيل التي يمكن أن تتم فيها عملية التهجين على نطاق واسع. ومنها على سبيل المثال نذكر العائلة القرعية، مثلها كمثل الذرة يحمل النبات الواحد الأزهار المؤنثة منفصلة عن الأزهار الذكرية. ولذلك يسهل فيها التلقيح الذاتي لإستنباط سلالات نقية. كما يسهل خصيها لإتاحة الفرة للتلقيح الخلطي لإستنباط الهجن. وقد تم فعلاً توليد أصناف مهجنة منها الخيار والقرع العسلي والبطيخ، وتتميز الهجن بالقوة ووفرة الإنتاج ووحدة الشكل.

أما النباتات التي تحوي أزهارها الأعضاء المذكرة والأعضاء المؤنثة معاً فتهجينها الجماعي صعب. وفي بعضها مثل الطماطم ذات الأزهار الكبيرة نسبياً والتي تحوي ثمارها عدداً وفيراً من البذور، يمكن إنتاج الهجين بالتلقيح اليدوي. أما النباتات ذات الأزهار الصغيرة كالبصل والبنجر، فيصعب إنتاج هجنها على نطاق اقتصادي بالاعتماد على عمليات الخصي والتلقيح اليدوي. ولكن أمكن استنباط سلالات ذات عقم ذكري كالذي أشرنا إليه في الذرة. ولما كان البصل والبنجر محاصيل يعتمد إنتاجها على النمو الخضري، فلا خطر من إستنباط تقاوي هجن عقيمة، وما تزال دراسات التهجين تتناول البرسيم الحجازي، والشعير والبرسيم والشيلم والذرة العويجة.

ولقد اتسعت دائرة التهجين فشملت الحيوانات المستأنسة، حتى أصبح لإنتاج الكتاكيت الهجين المرتبة الثانية بعد إنتاج تقاوي الذرة الهجين. كذلك بدأت تجارب لإنتاج هجن الخنازير والأغنام والماشية. والتهجين في حيوانات الحقل ميسور لأن الأجناس منفصلة ولابد من التزاوج الخلطي، ولكن استنباط السلالات النقية في مجال الحيوانات عسيرة، والاعتماد فيه على التزاوج بين

الأشقاء، وأثر ذلك يعادل ثلث أثر التلقيح الذاتي في النبات. ولما كان أفراد الحيوان أغلى ثمناً من أفراد النبات، فإن تناولها بهذه التجارب يتضمن مصاعب ونفقات جمة. على أن النتائج مشجعة، والدجاج الهجين أسرع نمواً وأكثر بيضاً، والخنازير الهجين أقل طعاماً وأكثر إنتاجاً، والماشية الهجين أكثر إدراراً للبن. أي أن مربي الحيوان قد وجد، مثلما وجد زميله مربي النبات، أن ظاهرة قوة الهجين من العمد الهامة لرفع مستوى الكفاءة الفسيولوجية للكائن الحي. وسيأتي يوم ليس ببعيد، تصبح فيه أغلب النباتات التي تنمو في الحقول والحيوانات المستأنسة والحقلية، من الأصناف الهجين. وقد مهد الذرة الهجين السبيل لذلك.

معجم أسماء النباتات

إسم النبات	الإسم بالإنجليزية
إبرة آدم	Yucca, Yucca sp.
أبو ركبة (نوع من	Kohlrabi, Brassica oleracea
القرنبيط)	Columbine, Aquilegia sp
أخيليا	Primula Prolifera
آذان الدب	Jewelweed, Phlomis sp.
أذينه	Orchid, Orchis sp.
أراشيد	Rice, Oryza sativa
أرز	Black arum, Arum sp.
أرم أسود	Blue berries, Vaccinium sp.
آس بري	Spinach, Spinacia oleracea
إسفناج	Rock maple, Acer saccharinum
أسفندان	Rush, Juncus sp.
أسل	Foxglove, Digitalis purpurea
أصبع العذراء	China aster, Callistephus Chinensis
أصطر صيني	Desert sunflower, Helianthus petiolaris
أقاحي الصحراء	Guayule, Parthenium argentatum
أقحوان المطاط	Pineapple, Anans sativus
أناناس	Brittle-bush, Encelia Farinosa
أنسيليا	Snapdragon, Antirrhinum majus
أنف العجل	
بامية	Hibiscus esculentus

Papaya, Carica papaya	بباز
Petunia, Petunia hybrid	بتونيا
Red Clover, Trifolium pretense	برسيم أحمر
Alfalfa, Medicago sativa	برسيم حجازي
Peucephyllum, ??	بيسفللم
Pea, Pisum sativum	بسلة
Sweet Pea, Lathyrus odoratus	بسلة الزهور
Polypodium sinuosum	بسيج
Pond lily, Nymphaea sp.	بشنين
Onion, Allium cepa	بصل
Potato, Solanum tuberosum	بطاطس
Water melon, Citrullus vulgarts	بطيخ
Tonka bean. Dipteryx odorata	بقلة الدبتركس
Red oak, Quercus robur	بلوط
Beet, Beta vulgaris var, rapa	بنجر
Hazel Corylus sp.	بندق
Violet, Viola odorata	بنفسج
African violet, Saintpaulia ionantha	بنفسج أفريقي
Pouroma sp.	بورومة
Cattail, Typha sp.	بوط
Monkshood, Aconitium sp.	بيش
Elder, Sambucus sp.	بيلسان
Birch, Betula alba	تامول
Tripsacum sp.	تربساك
Apple, Pyrus malus	تفاح

Trumpet creeper, Tecoma radicans	تكومة
Douglas fir, Pseudotsuga douglasii	تنوب دوجلي
Blackberry, Rubus Fruticosus	توت شوكي
Hibiscus, Hibiscus cannabis	تيل
Strangler fig, Ficus sp.	تين خناق
Bladderwort, Utricularia vulgaris	حامول الماء
Canarygrass, Phalaris canariensis	حب العصافير
Ivy, Hedera helix	حبل المساكين
Nettle, Urtica sp.	حريق
Spirea sp	حشيشة النزف
Sedge, Carex sp.	حلفا
Dock, Rumex sp.	حماض
Alder, Alnus glutinosa	حمراية
Oxalis, Oxalis sp.	حمضيض
Poplar, ??	حور
Cottonwood, Populus Canadensis	حور كندي
Sedum telephium	حيعالم
Griselinia sp.	جريزلينا
Carrot, Daucus carota	جزر
Walnut, Juglans nigra	جوز
Litchi nut, Litchi chinensis	جوز الليتش
Coconut, Cocos nucifera	جوز الهند
Hellebore, Veratrum viride	خربق
Lettuce, Lactuca sativa	خس
Ironwood, Olneya tesota	خشب الحديد

California poppy, Papaver sp.	خشخاش كاليفورنيا
European health, Erica sp.	خلنج أوربي
Venus's-flytrap, Dionaea muscipula	خناق الذباب
Peach, Prunus Persica	خوخ
Cucumber, Cucumis sativus	خيار
Scorzonera sp.	دباح
Misletoe, Loranthus sp.	دبق
Gladiolus, Gladiolus communis	دلبوث
Chrysanthemum sp.	دلفيط
Ragweed, Ambrosia sp.	دمسيس
Corn, Zea mays	ذرة (ذرة شامية)
Flour corn, Z.mays var. amylacea	ذرة دقيق
Sweet corn, Z.mays var. rugosa	ذرة سكرية
Flint corn, Z.mays var. indurata	ذرة صواني
Popcorn, Z.mays var. everta	ذرة فشار
Dent corn, Z.mays var. indentata	ذرة نشاوي
Sorgum, Sorghum vulgare	ذرة عويجة
Rata, Metrosideros sp.	راتا
Rafflesia, Rafflesia arnoldi	رافليزا
Royal Poinciana, Delonix regia	رنف أحمر
Teosinte, Euchlaena mexicana	ريانة
Beech, Fagus sylvatica	زان
Goosefoot (pigweed), Chenopodium	زربيح
sp.	زعرور
??awthorn, Crataegus mongyna	زعفران

Crocus, Crocus sativus	زهر الآلام
Passionflower, Passiflora incarnate	زهر اللؤلؤ
English daizy, Bellis perennis	زينة
Zinnia, Zinnia elegans	
Aegilops sp.	سبل
Chicory Chichorium intybus	سريس
Parnassia sp.	سفرس
Agropyron sp.	سفون
Cecropia sp.	سقروبيا
Sumac, Rhus coriara	سماق
Tulip, Tulipa gesneriana	سنبل
Lily, Lilium sp.	سوسن
Paloverde, Cercidium sp.	سيسبان أمريكي
Century-plant, Agve americana	سيسيل أمريكي
Tea, Camellia thea	شاي
Morning glory, Ipomoea purpurea	ش النهار
Cocklebur, Xanthium sp.	شبيط
Redwood, Sequoia sempervirense	شجرة الخشب الأحمر
Candle tree, Parmentiera sp.	شجرة الشمع
Ginkgo, Ginkgo biloba	شجرة المعبد
Smoke tree, Cotinus obovatus	شجرة اليحموم
Schefflera sp.	شفليرة
Buttercup, Ranunculus sp.	شقائق النعمان
Strawberry, Fragaria vesca	شليك
Oats, Avenu sativa	شوفان

Artemisia absinthium	شيح رومي
Rye, Secale cereale	شيلم
Cactus sp.	صبير
Willow, Salix alba	صفصاف
White pine, Pinus strobus	صنوبر أبيض
Thistle, Carduus sp.	ضهياء
Jimson weed, Datura stramonium	طاطورة
Tobacco, Nicotiana tabacum	طباق
Jerusal??Artichoke, Helianthus tuberosa	طرطوف
Tomato, Lycopersicum esculentum	طماطم
Black-eyed-susans, Thunbergia alata	طنبرجية
Desert holly, Ilex sp.	طيم الصحراء
Larkspur, Delphinium sp.	عايق
Sunflower, Helianthus annuus	عباد الشمس
Lentil, Lens esculenta	عدس
Duckweed, Lemna minor	عدس الماء
Mushrooms, Agaricus spp.	عراهين فطرية
English harebell Campanula rotundifolia	عسنب إنجليزي
Penicillium notatum	عفن أخضر (فطر)
Catchfly, Silene sp.	علوك
Bramble, Rubus sp.	عليق شوكي
Virginia creeper, Parthenocissus	عليق عنبي
quinquefolia	عنب
Vine, Vitis vinifera	عنب الثعلب
Paris sp.	عنبر أزرق

Cornflower, Centaurea cynus	عود الريح
Barberry, Berberis vulgaris	عوسج
Buckthorn, Rhamnus sp.	عيسلان
Hyacinth, Hyacinthus orientalis	
Mesquite, Prosopis juliflora	غاف
Dutchman's-pipe, Aristolochia sp.	غاغة
Pyrethrum sp.	غرديب
Elm, Ulmus sp.	غرغار
Sweet shrub, Calycanthus Floridus	فلفل كارولينا
Phlox sp.	فلكس
Fuchsia, Fuchsia hybrida	فوسكيه
Bean, Vicia Faba	فول
Peanut, Arachis hypogea	فول سوداني
Soybean, Glycine soja	فول الصويا
Squash, Cucurbita maxima	قرع عسلي
Carnation, Dianthus caryophyllus	قرنفل
Dogwood, Cornus sp.	قرنوس
Horse chestnut, Aesculus	قسطنة هندي
hippocastanum	قصب السكر
Sugar cane, Saccharum officinarum	قضيب الذهب
Goldenrod, Solidago uirgaurea	قطن
Cotton, Gossypium sp.	قلب مريم
Bleeding heart, Dicentra spectabilis	قمح
Wheat, Triticum spp.	قمح البقر
Buck wheat, Fagopyrum esculentum	قنب

Hemp, Cannabis sativa Coussapoa sp.	قوصابة
Casuarina sp.	كازورينة
Eucalyptus, Eucalypus sp.	كافور
Camellia, Camellia japonica	كاميليه
Flax, Linum usitatissimum	كتان
Catalpa, Catalpa sp.	كتلبه
Celery, Apium graveolens	كرفس
Cabbage, Brassica oleracea var. capitata	كرنب
Creosote, Larrea tridentata	كريزوت
Cassava, Manihot vtilissima	كزافه
Cosmos, Cosmos sp.	كزموس
Calabash, Crescentia cujete	كلباش
Clusia sp.	كلوزيا
Pear, Pyrus communis	كمثرى
Gentian, Gentiana sp.	كوشاد
Magnolia, Magnolia sp.	ماجنوليا
Mimosa pudica	مستحية
Sausage tree, Kigelia pinnata	مشطورة
Stock, Matthiola incana	منثور
Banana, Musa sapientum	موز
Plantain, Musa paradisiaca	موز
Melicitus sp.	ميليسطس
Coleus sp.	نجده
Date-palm, phoenix dactylifera	نخيل

Dandelions, Taraxacum officinale	هندباء
Rose, Rosa sp.	ورد
Sundew, Drosera rotundifolia	ورد الشمس
?? primrose, Oenothera biennis	ورد الماء
Weinmannia sp.	ونمانية

Aegilops sp.	سبل
African violet, Saintpaulia ionantha	بنفسج أفريقي
Agropyrom sp.	سفون
Alder, Alnus glutinosa	حمراية
Alfalfa, Medicago sativa	برسيم حجازي
Apple, Pyrus malus	تفاح
Artemisia absinthium	شيح رومي
Banana, Musa sapientum	موز
Barberry, Berberis vulgaris	عود الريح
Bean, Vicia faba	فول
Beech, Fagus sylvatica	زان
Beet, Beta vulgaris var, rapa	بنجر
Birch, Betula alba	تامول
Black arum, Arum sp.	أرم أسود
Blackberry, Rubus fruticosus	توت شوكي
Black-eyed- susans, Thhunbergia	طنبرجية
alata	حامول الماء
Bladderwort, Utricularia vulgaris	قلب مريم
Bleeding heart, Dicentra spectabilis	آس بري
Blue berries, Vaccinium sp.	عليق شوكي

Bramble, Rubus sp.	أنسيليا
Brittle-bush, Encelia farinose	عوسج
Buckthorn, Rhamnus sp.	قمح البقر
Buckwheat, Fagopyrum esculentum	كرنب
Cabbage, Brgssix elerucea var.	كلباش
capitata	خشخاش كاليفورنيا
Calabash, Crescentia cujete	كاميليه
California poppy, Papaver sp.	شاي
Camellia, Camellia japonica	حب العصافير
Camellia thea	شجرة الشمع
Canarygrass, Phalaris canariensis	قرنفل
Candle tree, Parmentiera sp.	جزر
Carnation, Dianthus caryophyllus	كزافه
Carrot, Daucus carota	كازورينه
Cassava, Manihot vtilissimu	كتلبه
Casuarina sp.	علوك
Catalpa, Catalpa bignonioides	بوط
Catchfly, Silene sp.	سقروبيا
Cattail, Typha sp.	كرفس
Cecropia sp.	سيسيل أمريكي
Celery, Apium graveloens	سريس
Century-plant, Agave Americana	أصطر صيني
Chicory Chichorium intybus	دلفيط
China aster, Callistephus chinensis	كلوزيا
Chrysanthemum sp.	شبيط

Clusia sp.	جوز الهند
Cocklebur, Xanthium sp.	نجدة
Coconut, Cocos inucifera	أخيليا
Coleus sp.	ذرة (ذرة شامية)
Columbine, Aquilegia sp.	ذرة نشاوي
Corn, Zea mays	ذرة صواني
Dent corn, Z. mays var. indentata	ذرة دقيق
Flint corn, Z. mays var. indurate	ذرة فشار
Flour corn, Z. mays var. amylacea	ذرة سكرية
Pop corn, Z. mays var. everta	عنبر أزرق
Sweet corn, Z. mays var. rugosa	كزموس
Cornflower, Centaurea cyanus	قطن
Cosmos, Cosmos sp.	حور كندي
Cotton, Gossypium sp.	قوصابة
Cottonwood, Populus Canadensis	كريزوت
Coussapoa sp.	زعفران
Creosote, Larrea tridentata	خيار
Crocus, Crocus sativus	هندباء
Cucumber, Cucumis sativus	نخيل
Dandelions, Taraxacum officinale	طيم الصحراء
Date-palm, Phoenix dactylifera	أقاحي الصحراء
Desert holly, Ilex sp.	حماض
Desert sunflowers, Helianthus	قرنوس
petiolaris	تنوب دوجلي
Dock, Rumex sp.	عدس الماء

Dogwood, Cornus sp.	غاغة
Douglas fir, Pseudotsuga douglasii	بيلسان
Duckmeed, Lemna minor	غرغار
Dutchman's-pipe, Aristolochia sp.	زهر اللؤلؤ
Elder Sambucus sp.	عسنب إنجليزي
Elm, Ulmus sp.	كافور
English daisy, Bellis perennis	خلنج أوربي
English harebell Campanula	ورد الماء
rotundifolia	كتان
Eucalyptus, Eucalyptus sp.	أصبع العذراء
European heath, Erica sp.	فوسكيه
Evening primrose Oenothera biennis	كوشاد
Flax, Linum usitatissimum	شجرة المعبد
Foxglove, Digitalis purpurea	دلبوث
Fuchsia, Fuchsia hybrid	قضيب الذهب
Gentian, Gentiana sp.	زربيح
Ginkgo, Ginkgo biloba	جريزلينا
Gladiolus, Gladiolus communis	أقحوان المطاط
Goldenrod, Solidago virgaurea	زعرور
Goosefoot (Pigweed), Chenopodium	بندق
sp.	خربق
Griselinia sp.	قنب
Guayule, Parthenium argentatum	تيل
Hawthorn, Crataegus monogyna	قسطنة هندي
Hazel Corylus sp.	عيسلان

Hellebore, Veratrum Viride	خشب الحديد
Hemp, Cannabis sativa	حبل المساكين
Hibiscus, Hibiscus cannabis	طرطوف
Horse ??, Aesculus hippocastanum	أذينه
Hyacinth, Hyacinthus orientalis	طاطورة
Ironwood, Olneya tesota	أبو ركبة (نوع من
Ivy, Hedera helix	القرنبيط)
Jerusalem artichoke, Helianthus	عايق
tuberosa	عدس
Jewelweed, Phlomis sp.	خس
Jimson weed, Datura stramonium	سوسن
Kohlrabi, Brassica oleracea	جوز الليتش
Larkspur, Delphium sp.	ماجنوليا
Lentil, Lens esculenta	ميليسطس
Lettuce, Lactuca sativa	غاف
Lily, Lillium sp.	مستحية
Litchi nut, Litchi chinensis	دبق
Magnolia, Magnolia sp.	بيش
Melicitus sp.	شب النهار
Mesquite, Prosopis juliflora	عراهين فطرية
Mimosa pudica	حريق
Misletoe, Loranthus sp.	شوفان
Monkshood, Aconitium sp.	بصل
Morning glory, Impomoea purpurea	أراشيد
Mushrooms, Agaricus spp.	حمضيض

Nettle, Urtica sp.	سيسبان أمريكي
Oats, Avena sativa	بباز
Onion, Allium cepa	عنب الثعلب
Orchid, Orchis sp.	سفرس
Oxalis, Oxalis sp.	زهر الآلام
Paloverde, Cercidium sp.	بسلة
Papaya, Carica papaya	خوخ
Paris sp.	فول سوداني
Parnassia sp.	كمثرى
Passionflower, Passiflora incarnate	عفن أخضر (فطر)
Pea, Pisum sativum	بتونيا
Peach, Prunus persica	بيسفللم
Peanut, Arachis hypogea	فلكس
Pear, Pyrus communis	زربيح نتن
Penicillium notatum	أناناس
Petunia, Petunia hybrida	موز
Peucephyllum sp.	بسيج
Phlox sp.	بشنين
Pigweed chenopdium sp.	حور
Pineapple, Ananas sativus	بطاطس
Plantain Mosa paradisiaca	بورومة
Polypodium sinuosum	آذان الدب
Pond lily, Nymphaea sp.	عرديب
Poplar, Populus sp.	رافيلزا
Potato, Solanum tuberosum	دمسيس

Pouroma sp.	راتا
Primula prolifera	برسيم أحمر
Pyrethrum sp.	بلوط
Rafflesia, Rafflesia arnoldi	خشب أحمر
Ragweed, Ambrosia sp.	أرز
Rata, Metrosideros sp.	أسفندان
Red clover, Trifolium pratense	ورد
Red Oak, Quercus robur	رنف أحمر
Red wood Sequoia sempervirens	أسل
Rice, Oryza snativa	مشطورة
Rock maple, Acer saccharinum	شفليرة
Rose Rosa sp.	دباح
Royal Poinciana, Delonix regia	حلفا
Rush, Juncus sp.	حيعالم
Sausage tree Kigeliapinnata	شجرة اليحموم
Schefflera sp.	أنف العجل
Scorzonera sp.	ذرة عويجة
Sedge, Carex sp.	فول الصويا
Sedum telephium	إسفناخ
Smoke tree, Cotinus obovatus	حشيشة النزف
Snapdragon, Antirrhinum majus	قرع عسلي
Sorgum, Sorghum vulgare	منثور
Soybean, Glycine soja	تين خناق
Spinach, Spinacia oleracea	شليك
Spirea sp. Aspilia sp.	قصب السكر

Squash, Oucurbita maxima	سماق
Strock, Matthiola incana	ورد الشمس
Strangler fig, Ficus sp.	عباد الشمس
Strawberry, Fragaria vesca	بسلة الزهور
Sugar cane, Saccharum officinarum	فلفل كارولينا
Sumac, Rhus coriara	ريانة
SundewDrosera rotundifolia	ضهياء
Sunflower, Helianthus annuue	طباق
Sweet pea, Lathyrus odoratus	طماطم
Sweet shrub, Calycanthus Floridus	بقلة الدبتركس
Teosinte, Euchlaena Mexicana	تربساك
Thistle, Carduus sp.	تكومة
Tobacco, Nicotiana tabacum	سنبل
Tomato, Lycopersicum esculentum	خناق الذباب
Tonka bean. Dipteryx odorata	بربينا
Tripsacum sp.	عنب
Trumpet creeper, Tecoma radicans	بنفسج
Tulip, Tulipa gesneriana	عليق عنبي
Venus's-flytrap, Dionaea muscipula	ونمانية
Verbena, Verbena hybrida	جوز
Vine, Vitis vinifera	بطيخ
Violet, Viola odorata	قمح
Virginia creeper, Parthenocissus	صنوبر أبيض
quinquefolia	صفصاف
Weinmannia sp.	إبرة آدم

Walnut, Juglans nigra Water melon, Citrullus vulgaris Wheat, Triticum spp. White pine, Pinus strobus Willow, Salix alba Yucca, Yucca sp. Zinnia, Zinnia elegans	زينة

الفهرس

الجزء الخامس

ديناميكا الحياة النباتية

الجزء السادس

نشأة العشيرة النباتية

الجزء السابع

علم الوراثة التطبيقي